



PÅLKOMMISSIONEN

Commission on Pile Research

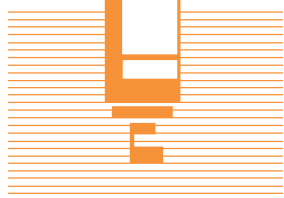


Statens Järnvägars undersökning av korrosion på stålpålar i jord – Statistisk bearbetning

Per-Evert Bengtsson
Ulf Bergdahl
Göran Camitz
Tor-Gunnar Vinka

Linköping, feb 2002

information 2002:1



Förord

Pålkommisionen har till uppgift att bedriva forsknings- och informationsverksamhet inom pålningsområdet. Denna rapport är en del av detta arbete och vill sprida information om korrosion på stålplåtar i jord. Rapporten bygger på det av Erik Sandegren 1988 redovisade meddelande Nr 46 från SJ:s kontor för Geoteknik och Ingenjörsgologi: *Korrosion på stål – vertikalt orienterat – i jord. Slutrapport*. I denna redovisas resultatet av ett stort antal bestämningar under lång tid av korrosionen på stålstänger som satts ned på ett stort antal provplatser i landet genom SJ:s försorg.

Inom Pålkommisionen arbetar en grupp med korrosion på stålplåtar. Dess arbete syftar till att få fram dimensioneringsregler för stålplåtar med hänsyn till korrosion. Härvid har gruppen funnit det önskvärt att närmare studera korrosionens storlek och fördelning i jord med olika egenskaper med hänsyn till korrosion. Denna rapport är ett led i detta arbete som redovisar hur en databas innehållande alla observationer från Sandegrens rapport etablerats och vilka generella slutsatser om korrosionens storlek, som nu kan dras. I korrosionsgruppens fortsatta arbete ingår att med hjälp av databasen och senare tids erfarenheter närmare analysera samband mellan korrosionen på stålplåtar och jordens och grundvattnets egenskaper.

Arbetet med denna rapport har finansierats av Pålkommisionen, Korrosionsinstitutet och Statens geotekniska institut.

Författarna vill framföra sitt varma tack till Pålkommisionens arbetsgrupp för **Korrosion på stålplåtar** för deras värdefulla synpunkter och kommentarer under arbetets gång. Gruppen har bestått av följande medlemmar:

Tomi Arnio, SKANSKA (-1996)
Per-Evert Bengtsson, PEAB
Ulf Bergdahl, Statens geotekniska institut
Arne Bohman, NCC (-1996, Ordförande)
Staffan Boström, Banverket (-1996)
Håkan Bredenberg, SKANSKA (-1996)
Göran Camitz, Korrosionsinstitutet
Katarina Grauers, Vägverket (-1996)
Ulf Johnson, GEO AB (2000-)
Jouko Lehtonen, Rautaruukki (2000- , Ordförande)
Jan-Erik Ohlsson, Rautaruukki (-1996)
Robert Ronnebrant, Vägverket (-1996)
Jouko Törnqvist, VTT (2000-)
Tor-Gunnar Vinka, Korrosionsinstitutet

Författarna vill också rikta ett varmt tack till Erik Sandegren och hans tidigare kolleger på SJ för deras idoga arbete med insamling av data under många år. Det är helt och hållet deras förtjänst att detta unika material nu kan komma till ytterligare användning i arbetet med dimensioneringsregler för stålplåtar med hänsyn till korrosion.

Innehåll

Förord

Summary	4
1 Inledning och bakgrund	5
2 Syfte	5
3 Beskrivning av SJ:s korrosionsundersökning	6
3.1 Allmänt	6
3.2 Tillvägagångssätt	6
3.3 Försökslokaler (Platser)	8
3.3.1 Allmänt	8
3.3.2 Försöksplats Norrköping, Centralföreningen	8
3.3.3 Försöksplats Norrköping, Centralstationen	13
3.3.4 Försöksplats Guntorp	13
3.3.5 Försöksplats Boden	13
3.3.6 Försöksplats Kramfors	13
3.3.7 Försöksplats Resteröd	13
3.3.8 Försöksplats Ugglum	14
3.3.9 Försöksplats Gubbero	14
3.3.10 Försöksplats Stockholm, Centralstationen	14
3.3.11 Försöksplats Solna, Kvarteret Fräsaren nr 8	14
3.3.12 Försöksplats Malmö, Östra Hamnkanalen	14
3.3.13 Försöksplats Trensum	15
3.3.14 Försöksplats Kalmar	15
3.3.15 Försöksplats Vinslöv	15
3.3.16 Försöksplats Jönköping	15
3.3.17 Försöksplats Hällby	15
3.3.18 Försöksplats Kalix	15
3.3.19 Försöksplats Umeå	15
3.3.20 Försöksplats Borlänge	16
3.4 Redovisning av korrosionen mot djupet i mark på provplatserna	16
4 Statistisk bearbetning av SJ:s undersökningsresultat	35
4.1 Metodik	35
4.2 Etablering av databas	35
4.3 Samband mellan korrosionens storlek och jordart	35
4.4 Samband mellan korrosionens storlek och stålets läge i förhållande till grundvattennivån	45
4.5 Samband mellan korrosionens storlek och jordens egenskaper	56
4.5.1 Allmänt	56
4.5.2 Jordens naturliga vattenkvot	56
4.5.3 Jordens resistivitet	56
4.5.4 Jordens pH-värde	56
4.6 Samband mellan korrosionens storlek och stålets exponeringstid	56
5 Sammanfattande diskussion	62
6 Slutsatser	63
7 Referenser	64
Bilaga – Utformning av databas och sökning i databas	65

Summary

In the Commission on Pile Research one group, **Corrosion on steel piles**, is working with the aim to present a guide line for the design of steel pile with respect to corrosion.

One part of this work is to collect, evaluate and present case records on the corrosion on steel for different soil and ground water conditions.

The main objectives of this report is to present the results of a statistical analysis of the long-term measurements of corrosion on steel bars in different soils performed by Swedish Rail Administration (SJ) and earlier reported in Sandegren (1988).

A database with all the results from the report by Sandegren (1988) has been created. A statistical analysis has been performed to show if there are any correlation between observed corrosion and soil and ground water conditions.

The report is part of a larger work in the working group and will be a part of the evaluation of the amount of corrosion for different soil and ground water conditions.

In the continuing work in the group the aim is with help of the database and other later experiences closer evaluate the relation between corrosion on steel pile and the properties of the soil and groundwater. This will be an important part in the work with the guide line.

1 Inledning och bakgrund

Inom Pålkommisionens arbetsgrupp "Korrosion på stålplåtar" pågår sedan en längre tid ett arbete med att ta fram regler för dimensionering av stålplåtar med hänsyn till korrosion. Arbetet startade i början av 1995 efter att Pålkommisionens Rapport 93, Camitz (1994) var färdig. Rapport 93 sammanfattar då befintlig kunskap inom området och ger även ett förslag till hur man skall ta hänsyn till korrosion vid dimensionering genom förslag till storlek på rostmån.

För att förbättra underlaget beslutades att som en första del i det fortsatta arbetet genomföra en fördjupad genomgång av SJ:s undersökningar, Sandegren (1988), av korrosion på stål vertikalt orienterat i jord. SJ:s undersökningar är av unikt värde och avsikten var att gå igenom underlaget och att överföra resultatet i en form, som man senare lätt kan använda som underlag vid eventuella framtida bedömningar och värderingar.

Arbetet har genomförts i samverkan mellan Korrosionsinstitutet (KI) och Statens geotekniska institut (SGI). Arbetet påbörjades under 1995 – 1996, men redovisningen har av olika orsaker, bl.a. ekonomi, legat nere sedan slutet av 1996. Omstart för arbetet har skett under hösten 2000.

När nu arbetet med den statistiska bearbetningen har färdigställts vill vi som deltagit i arbetsgruppen rikta ett stort tack till Erik Sandegren för hans goda arbete under årens lopp. Det är helt och hållet hans förtjänst att detta unika material bevarats och kunnat utnyttjas.

2 Syfte

Syftet med denna del av arbetsgruppens arbete var att överföra resultatet från SJ:s undersökningar till en databas och att med dess stöd göra en översiktlig statistisk analys av resultaten. Detta för att säkerställa (bekräfta) de slutsatser och ansatser som gjorts i Pålkommisionens Rapport 93 och om möjligt ge ett bättre underlag för bedömning av vad som skulle kunna kallas karakteristisk korrosion i olika jordar.

Slutsatser från denna utredning sammanfört med resultat från andra undersökningar i Sverige och utomlands förväntas ge ett bättre underlag för val av metodik för att genomföra dimensionering med hänsyn till korrosion.

Databasen har etablerats i ett allmänt tillgängligt program, EXCEL, för att man senare, om man så vill, enkelt skall kunna överföra dessa data till en annan databas eller utvärderingsform.

Denna rapport syftar till att vara ett av underlagen i det pågående arbetet inom Pålkommisionen att ta fram en vägledning om val av rostmån och hantering av beständighet vid projektering av stålplåtar.

3 Beskrivning av SJ:s korrosionsundersökning

3.1 ALLMÄNT

Syftet med SJ:s undersökningar har varit att empiriskt fastställa om och till vilken grad vertikala föremål av stål korroderar i jord. Vidare skulle man med stöd av jordparametrar bedöma korrosionsrisken och jämföra dessa med det empiriska resultatet.

Arbetet har genomförts under en mycket lång tid, men ur korrosionssynpunkt en klart begränsad tid, vilket har inneburit att man inte har kunnat hålla riktigt samma format vad gäller undersökningsteknik på samtliga lokaler. Upptäckter man gjort under årens gång har utnyttjats vid uppläggnings av de nya undersökningarna.

Slutrapporten från SJ, Sandegren (1988) redovisar 19 st provplatser i Sverige med vertikalt installerade stänger bestående av skarvade sondstänger (normalt 1 m längd) med en diameter av antingen 19 mm eller 20 mm. Dessa har bestått av nya sondstänger och begagnade stänger med någon form av slipning.

Det är viktigt att komma ihåg att stängerna är nedslagna i jorden eftersom det har stor betydelse för korrosionens storlek om stängerna är drivna eller om jorden är utfylld kring stängerna.

Den övergripande slutsatsen från SJ:s undersökningar är att korrosionshastigheten i allmänhet är lägre än förväntat. Korrosionen är i allmänhet måttlig till liten såväl över som under grundvattenytan. Dock varnas med stöd av litteraturuppgifter för att korrosionen kan förväntas bli större om jorden grävs om så att den blir luftad. De teorier som användes som underlag för bedömning av korrosionsrisk (grundade på jordens resistivitet och jordens pH) har inte visat sig vara tillförlitliga utan man har fått en klar överskattning av korrosionens storlek. I en lokal (Ugglum) har man, 1956, låtit den nordiska expertisen inom området få möjlighet att prova jorden efter egna önskemål och med stöd av egen klassificering göra en bedömning av korrosionens storlek. Bedömningen utfördes innan man installerade stålen i mark. Med facit i hand har det visat sig att även dessa bedömningar har klart överskattat

korrosionsrisken och korrosionens storlek. Detta har väl sin förklaring i att man normalt jämfört det värsta korrosionsvärdet med jordförhållandena.

3.2 TILLVÄGAGÅNGSSÄTT

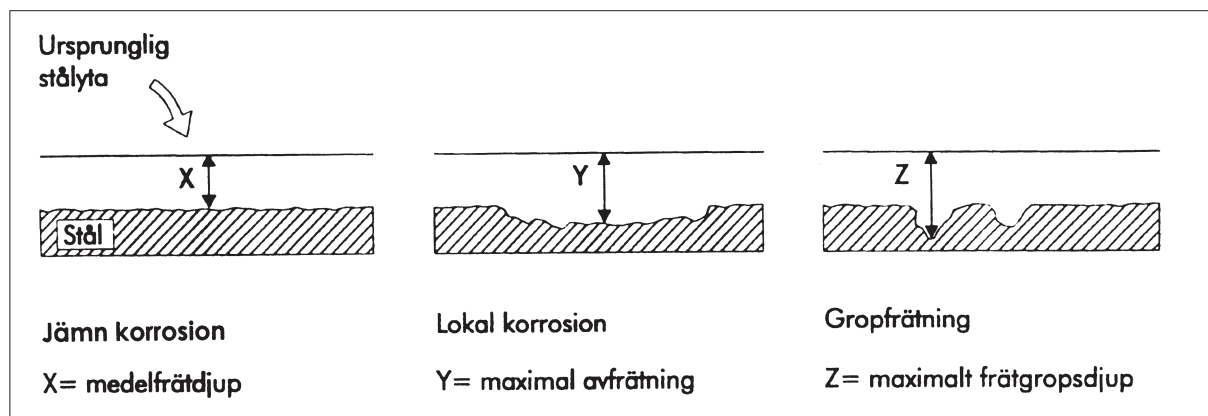
Under åren har ett antal försöksplatser valts ut där man känt behov av att öka kunskaperna om korrosionens storlek vid olika förhållanden. Ibland har valet varit en naturlig del i dimensioneringen av t.ex. en stålplåning med krav på bedömning av korrosionens storlek. Motivet till val av försöksplatser är dock inte helt klart. Om valet av lokaler byggts på att man velat verifiera den existerande metodiken (att med stöd av jordparametrarna resistivitet och pH-värde bedöma korrosionsrisken) är inte helt klarlagt.

För den statistiska tolkningen är det viktigt att veta om valet byggts på antagandet att man har stor risk för korrosion eller att valet helt skett enligt metodentypjordan eller typförhållanden. Om det första gäller kan det innebära en annan tolkning än om det andra förhållandet gäller. Man kan förmoda att man valt platser i sådan jord där järnvägar ligger och plåning kan bli aktuellt. Det stora antalet med platser med förekomst av organiskt material tyder dock på att man sökt de ur korrosionssynpunkt värsta fallen.

På de utvalda försökslokalerna har man genomfört geotekniska undersökningar och provningar för att kunna ange jordlagerföljd, jordens resistivitet, jordens pH och jordens densitet. Grundvattenytans läge har uppskattats genom observation i borrhål eller observationsrör. På några lokaler är materialet inte helt fullständigt bl.a. beroende på svårigheter att få fram representativa värden för pH och resistivitet.

Före installation av stålstängerna har man vägt samtliga delstänger och varit mycket varsam vid hantering så att man inte påverkat risken för korrosion. Efter uppdragning har stängerna rengjorts och vägts på nytt.

Korrosionen kan delas upp i jämn och lokal korrosion. Jämn korrosion (tidigare benämnd allmän



Figur 3.2.1 Olika former av korrosionsangrepp på kolstål.
Different types of corrosion attack on carbon steel.

korrosion) avser den genomsnittliga avfrätningen på ett föremål och sker med ungefär samma hastighet på hela ytan, medan lokal korrosion sker med särskilt stor hastighet inom begränsade områden på metallytan. Gropfrätning är lokal korrosion som resulterar i frätgropar på metallytan, se Figur 3.2.1. Gropfrätning, som också ibland kallas för punktfretning eller punktkorrosion, leder till ett angrepp med ringa utbredning men ofta med betydande djup.

Jämn korrosionshastighet bestäms genom massförlustbestämning där provföremålet vägs före exponering och sedan efter exponeringen, då korrosionsprodukterna avlägsnats genom betning. Korrosionshastigheten avseende massminskning per exponerad area och exponeringstid brukar anges i enheten $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$ och sedan räknas om till medelavfrätning i enheten $\mu\text{m}/\text{år}$ ($1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$). Vid omräkning av korrosionshastigheten till medelavfrätning används densiteten $7800 \text{ kg}/\text{m}^3$ för kolstål. Medelavfrätningen är alltså föremålets massminskning omräknad till utbredd avverkning av föremålet per tidsenhet. Medelavfrätningen är i dubbel bemärkelse en genomsnittlig korrosionshastighet: dels genomsnittlig korrosionshastighet för hela exponeringstiden, dels genomsnittligt frättdjup (medelfrättdjup) per tidsenhet på metallytan.

I denna rapport och i SJ:s rapport (Sandegren, 1988) anges massförlustbestämd korrosionshastighet (medelavfrätning) avseende jämn korrosion. För lastbärande konstruktioner som stålplåtar är det normalt den jämna korrosionshastigheten som är utslagsgivande.

Betning innebär att man tar bort smuts och korrosionsprodukter från ett metallprov genom att

nedsänka det en viss tid i ett betmedel som väljs med hänsyn till metallen, t ex ett syrabad med tillsats av korrosionsinhibitor. Betlösningen som oftast används för kolstål kallas för Clarkes lösning och består av 20 g/l antimon(III)oxid (Sb_2O_3) och 70 g/l tenn(II)klorid-dihydrat ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) löst i koncentrerad saltsyra (HCl). Antimonoxiden fungerar som korrosionsinhibitor.

Vid SJ:s undersökningar togs korrosionsprodukterna, rosten, bort från stålstängerna genom manuell stålborstning. Vid stålborstning finns risken att all rost inte tas bort från stängerna, speciellt från gropar på metallytan. En annan risk med stålborstning är att rosten poleras och får ett metallblankt utseende, varav man kan luras att tro att all rost avlägsnats vilket inte alltid är fallet.

Vid Korrosionsinstitutet gjordes därför en specialundersökning av betydelsen av metod för rostbortagning på delstängerna. Syftet var att klarlägga om korrosionens storlek hade underskattats i SJ:s undersökning. Detta var möjligt då både ursprungsmassorna och massorna efter stålborstning uppgivits för alla delstänger på ett föredömligt sätt i SJ:s rapport, Sandegren (1988). 114 delstänger, som tidigare stålborstats vid SJ, betades i Clarkes lösning. Delstängerna kom från den sista uppdragningen av stänger vid SJ:s provningsplatser.

Vid undersökningen betades delstänger, som drogs upp 1985, från provningsplatserna Guntorp (14 st delstänger, exponeringstid: 24,17 år), Resäteröd (17 st, 31,17 år), Malmö (8 st, 20,67 år), Trensum (19 st, 20,33 år), Kalmar (8 st, 20,33 år), Vinslöv (10 st, 20,33 år) och Jönköping (14 st, 20,50 år). Från ovanstående provningsplatser betades alla delstänger från den sista uppdrag-

ningen förutom tre delstänger som inte återfanns i SJs förråd. Förutom delstänger från dessa sju provningsplatser betades 25 delstänger från provningsplatserna Solna och Borlänge, men dessa delstänger har inte tagits med i resultatredovisningen eftersom det inte med säkerhet gick att fastställa delstängernas identitet. Korrosionshastigheterna efter betning jämfördes sedan med av SJ uppgivna korrosionshastigheter efter stålborstning. Skillnaden i korrosionshastighet efter betning och efter stålborstning beräknades för varje delstäng enligt:

Skillnad i korrosionshastighet = korrosionshastighet efter betning – korrosionshastighet efter stålborstning

För skillnaden i korrosionshastighet i enheten $\mu\text{m}/\text{år}$ utfördes statistiska beräkningar, **Tabell 3.2.1**. Av tabellen framgår att korrosionshastigheten var signifikant högre efter betning. Medianvärdet och medelvärde för skillnaden i korrosionshastighet var 0,9 respektive 1,0 $\mu\text{m}/\text{år}$. Skillnaden i korrosionshastighet skiljde sig inte åt mellan provningsplatserna och inte heller mellan delstänger med lägre respektive högre korrosionshastighet. Det största värdet, 6,1 $\mu\text{m}/\text{år}$, avviker markant från övriga observationer i det statistiska materialet. Detta värde är att betrakta som ett extremvärde.

Tabell 3.2.1 Skillnad i korrosionshastighet i enheten $\mu\text{m}/\text{år}$ för delstänger efter betning och efter stålborstning. Skillnaden i korrosionshastighet anges med olika statistiska parametrar.

Statistisk parameter	Värde
Antal observationer	89
Tre minsta värden, $\mu\text{m}/\text{år}$	0,2, 0,3, 0,3
Nedre kvartil, $\mu\text{m}/\text{år}$	0,5
Medianvärde, $\mu\text{m}/\text{år}$	0,9
Övre kvartil, $\mu\text{m}/\text{år}$	1,3
95% fraktilen, $\mu\text{m}/\text{år}$	1,8
Tre största värden, $\mu\text{m}/\text{år}$	2,6, 2,8, 6,1
Medelvärde, $\mu\text{m}/\text{år}$	1,0
Standardavvikelse, $\mu\text{m}/\text{år}$	0,8

Som slutsats kan det konstateras att korrosionshastigheterna i SJ:s undersökning underskattats något, men det saknar dock praktisk betydelse och uppgivna korrosionshastigheter motsvarar verklig korrosion.

3.3 FÖRSÖKSLOKALER (PLATSER)

3.3.1 Allmänt

Nedan redovisas för samtliga försöksplatser en enkel beskrivning av var platsen är belägen, hur många stänger som har installerats och vilken typ av delstänger som använts. För varje försökslokal görs också en översiktlig beskrivning av jordlagerföljd och grundvattenytans läge i övre grundvattenmagasinet (akvifären).

I **Tabell 3.3.1** redovisas en översiktlig sammanfattning av SJ:s undersökningar med per lokal antal stänger, antal delstänger, typ av stänger samt exponeringstid. På vissa av lokalerna har man av olika anledningar ej kunnat få fram samtliga installerade delstänger. Med en exponeringstid av 10 – 30 år är det undersökningsmaterial som tagits fram av SJ under så lång tid av mycket stort värde.

Observera att mätningarna från Hällby och Kalix inte har tagits med i fortsättningen på grund av avsaknaden av geotekniska basdata (Hällby) och ej tillräckligt noggrann mätning av vikt före installationen (Kalix). För lokalen Gubbero har den installerade stängen inte dragits upp.

För provplatserna Boden, Stockholm Centralstationen och Umeå har några stänger illegalt tagits upp, med resultat att bl.a. exponeringstiden är osäker. Resultatet från dessa stänger har inte tagits med vid den fortsatta utvärderingen av mätningarna.

Totalt finns 821 delstänger av totalt 836 delstänger medtagna i databasen. Den äldsta stängen är nedsatt 1954 och den yngsta 1974. Längsta observationstiden för en uppdragen stång är 31 år och 2 månader.

3.3.2 Försöksplats Norrköping, Centalföreningen

Provplatsen är belägen vid Göta Lantmäns centralsiloanläggning i Norrköping. Totalt har installerats fyra stänger (1 m delstänger av sondstål med diametern 19 mm) med totala längderna 15, 16, 18 och 18 m. En av delstängerna har analyserats kemiskt samt draghållfasthets- och hårdhetsprovats.

Tabell 3.3.1 Sammanställning av provplatser ingående i SJ:s korrosionsutredning, Sandegren (1988). (Del 1 av 4)

Provningsplats SJ:s beteckning	Nedsättning Antal stänger Längd	Uppdragning					Delstängernas dimension och yttillstånd	Anmärkningar
		Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid		
Norrköping, Centralförvalt- ningen C1	December 1955 4 st Stång A 15 m Stång B 18 m Stång C 18 m Stång D 16 m	Stång A 15 st 3,83 år	Stång B 18 st 10,92 år	Stång C 18 st 15,33 år	Stång D 16 st 19,92 år		Alla delstänger: $\ell = 1$ m, $\varnothing = 19$ mm, nya delstänger	
Norrköping, Centralstationen C2	Augusti 1960 5 st Alla stänger: 15 m	Stång A 15 st 10,67 år	Stång B 15 st 15,25 år	Stång C 15 st 20,96 år	Stång D 15 st Stång E 15 st 22,42 år		Alla delstänger: $\ell = 1$ m, $\varnothing = 19$ mm, smärglade delstänger	
Guntorp (i närheten av Kungälv) C3	September 1961 5 st Alla stänger: 14 m	Stång A 14 st 6,25 år	Stång B 14 st 10,25 år	Stång C 14 st 15,25 år	Stång D 14 st 19,88 år	Stång E 14 st 24,17 år	Alla delstänger: $\ell = 1$ m, $\varnothing = 20$ mm, centerlesslipade delstänger	
Boden C5	Oktober 1964 5 st Alla stänger: 8 m	Stång A 8 st 4,00 år	Stång B 8 st 6,50 år	Stång C 8 st Stång D el. stång E 8 st 16,83 år			Alla delstänger: $\ell = 1$ m, $\varnothing = 20$ mm, centerlesslipade delstänger	<i>Stång D och E</i> illegalt uppdragna vid okänd tidpunkt. En stång, an- tingen <i>stång D</i> eller <i>E</i> , återfunnen. Expone- ringstiden är osäker.
Kramfors C6	Oktober 1964 5 st Alla stänger: 11 m	Stång A 11 st 2,58 år	Stång B 11 st 6,50 år	Stång C 11 st 16,58 år	Stång D 11 st Stång E 11 st 21,67 år		Alla delstänger: $\ell = 1$ m, $\varnothing = 20$ mm, centerlesslipade delstänger	

Tabell 3.3.1 Sammanställning av provplatser ingående i SJ:s korrosionsutredning, Sandegren (1988). (Del 2 av 4)

Provningsplats SJs beteckning	Nedsättning Antal stänger Längd	Uppdragning					Delstängernas dimension och yttillstånd	Anmärkningar
		Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid		
Resteröd (i närheten av Uddevalla) C7	September 1954 1 st 17 m	Stång A 17 st 31,17 år					Alla delstänger: $\ell = 1 \text{ m}$, $\varnothing = 19 \text{ mm}$. 14 översta delstängerna nya, de 3 nedersta del- stängerna begagnade.	
Ugglum (i närheten av Partille) C9	Februari 1963 1 st 40 m	Stång A 40 st 5,25 år					Alla delstänger: $\ell = 1 \text{ m}$, $\varnothing = 19 \text{ mm}$, begagnade delstänger	
Gubbero (1,5 km från Göteborg C) C16	November 1960 1 st 51 m						Alla delstänger: $\ell = 1 \text{ m}$, $\varnothing = 19 \text{ mm}$, nya delstänger	Stången är inte upp- dragen
Stockholm, Centralstationen C21 Serie 1	November 1963 6 st Stång A 17 m Stång B 18 m Stång C 17 m Stång D 18,4 m Stång E 17,6 m	Stång A 17 st 3,67 år	Stång B 18 st 8,50 år	Stång C 17 st 14,58 år	Stång D 23 st Stång E 22 st 20,08 år		Stång A, B och C: $\ell = 1 \text{ m}$, $\varnothing = 20 \text{ mm}$, centerlesslipade delstänger. Stång D och E: $\ell = 0,8 \text{ m}$, $\varnothing = 19 \text{ mm}$, nya delstänger.	
Stockholm, Centralstationen C21 Serie 2	November 1963 6 st Alla stänger: 16 m	Stång A 16 st 3,67 år	Stång B 16 st 8,50 år	Stång C 16 st 14,58 år	Stång D 20 st Stång E 20 st 20,08 år		Stång A, B och C: $\ell = 1 \text{ m}$, $\varnothing = 20 \text{ mm}$, centerlesslipade del- stänger. Stång D och E: $\ell = 0,8 \text{ m}$, $\varnothing = 19 \text{ mm}$, nya delstänger.	<i>Stång 2E</i> illegalt upp- dragen vid okänd tid- punkt. Exponerings- tiden är osäker. I <i>stång 2E</i> är 16 av 20 delstänger försvunna.

Tabell 3.3.1 Sammanställning av provplatser ingående i SJ:s korrosionsutredning, Sandegren (1988). (Del 3 av 4)

Provningsplats SJs beteckning	Nedsättning Antal stänger Längd	Uppdragning					Delstängernas dimension och yttillstånd	Anmärkningar
		Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid		
Solna , kv Fräsaren C31	Juli 1964 7 st Alla stänger: 8,8 m	Stång A 9 st 7,42 år	Stång B 9 st 9,92 år	Stång C 9 st 16,96 år	Stång D 9 st Stång E 9 st Stång F 11 st Stång G 11 st 20,89 år		Stång A, B, C, D och E: längst upp 1 st $\ell = 0,8$ m, $\emptyset = 19$ mm, ny delstång, därefter 8 st $\ell = 1$ m, $\emptyset = 20$ mm, centerlesslipade delstänger. Stång F och G: 11 st $\ell = 0,8$ m, $\emptyset = 19$ mm, nya delstänger.	<i>Stång F</i> (delstång F3 av) och <i>stång G</i> (delstång G2 av) avkorroderade. I <i>stång F</i> saknas 8 av 11 delstänger och i <i>stång G</i> saknas 9 av 11 delstänger. De saknade delstängerna är kvar i jorden.
Malmö C33	Februari 1963 5 st Alla stänger: 4 m	Stång A 4 st 3,50 år	Stång B 4 st 8,33 år	Stång C 4 st 16,17 år	Stång D 4 st Stång E 4 st 20,67 år		Alla delstänger: $\ell = 1$ m, $\emptyset = 20$ mm, centerlesslipade delstänger	
Trensum (i närheten av Karlshamn) C36	Juni 1965 5 st Alla stänger: 10 m	Stång A 10 st 3,17 år	Stång B 10 st 8,00 år	Stång C 10 st 15,92 år	Stång D 10 st Stång E 10 st 20,33 år		Alla delstänger: $\ell = 1$ m, $\emptyset = 20$ mm, centerlesslipade delstänger	
Kalmar C37	Juni 1965 5 st Alla stänger: 4 m	Stång A 4 st 3,17 år	Stång B 4 st 8,00 år	Stång C 4 st 16,08 år	Stång D 4 st Stång E 4 st 20,33 år		Alla delstänger: $\ell = 1$ m, $\emptyset = 20$ mm, centerlesslipade delstänger	
Vinslöv (i närheten av Hässleholm) C38	Juni 1965 5 st Alla stänger: 5 m	Stång A 5 st 3,17 år	Stång B 5 st 8,00 år	Stång C 5 st 15,92 år	Stång D 5 st Stång E 5 st 20,33 år		Alla delstänger: $\ell = 1$ m, $\emptyset = 20$ mm, centerlesslipade delstänger	

Tabell 3.3.1 Sammanställning av provplatser ingående i SJ:s korrosionsutredning, Sandegren (1988). (Del 4 av 4)

Provningsplats SJs beteckning	Nedsättning Antal stänger Längd	Uppdragning					Delstängernas dimension och yttillstånd	Anmärkningar
		Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid	Stång Antal del- stänger Exp tid		
Jönköping C39	Juni 1965 5 st Alla stänger: 8 m	Stång A 8 st 7,00 år	Stång D 8 st 11,00 år	Stång B 8 st 16,08 år	Stång C 8 st Stång E 8 st 20,50 år		Alla delstänger: $\ell = 1$ m, $\varnothing = 20$ mm, centerlesslipade delstänger	
Hällby (i närheten av Eskilstuna) C85	Juli 1966 2 st Alla stänger: 3 m	Stång A 3 st T-profil B 1 st 6,16 år					Stång A: 3 st $\ell = 1$ m, $\varnothing = 20$ mm, center- lesslipade delstänger. T-profil B: $\ell = 3$ m, 30 x 30 x 4 mm.	Korrosionshastigheter saknas för delstänger- na. Korrosionshastig- heter finns för <i>stång A</i> i sin helhet (3 m) och för T-profilen.
Kalix C139	December 1968 2 st Alla stänger: 2 m	Stång A 2 st 4,50 år	Stång B 2 st 9,45 år				Alla delstänger: $\ell = 1$ m, $\varnothing = 20$ mm, centerlesslipade delstänger	Korrosionshastigheter saknas för samtliga delstänger
Umeå C148	Maj 1970 6 st Stång A 10 m Stång B 5 m Stång C 5 m Stång D 10 m Stång E 5 m Stång F 4 m Maj 1974 1 st Stång G 10 m	Stång F 4 st 1,00 år	Stång A 10 st Stång B 5 st Stång C 5 st Stång D 10 st Stång E 5 st 5,50 år				Alla delstänger: $\ell = 1$ m, $\varnothing = 20$ mm, centerlesslipade delstänger	Korrosionshastigheter saknas för delstänger- na i <i>stång F</i> . <i>Stångerna A, B, C, D, E och G</i> har dragits upp illegalt vid okänd tidpunkt. Exponerings- tiden är osäker. <i>Stång G</i> är försvunnen.
Borlänge C149	December 1974 3 st Stång A 15 m Stång B 16 m Stång C 15 m	Stång A 15 st 5,08 år	Stång B 16 st Stång C 15 st 11,42 år				Alla delstänger: $\ell = 1$ m, $\varnothing = 20$ mm, centerlesslipade delstänger	

Jordlagerföljden består överst av 0,7 – 0,8 m fyllning av grus på ett ca 0,5 m tjockt isoleringslager av slagg och kolaska. Därunder följer ett naturligt sandlager till ca 3 m djup, där lera börjar. Leran är gyttjig till ca 11 m djup under markytan. Glacialleran börjar på ca 14 m djup under markytan. Denna övergår till en siltig varvig lera på ca 17,5 m djup under markytan. Grundvattenytan har uppskattats ligga ca 0,9 – 1,0 m under markytan.

3.3.3 Försöksplats Norrköping, Centralstationen

Provplatsen är belägen vid Norrköping central. Totalt har installerats fem stänger (1 m delstänger av sondstål med diametern 19 mm) och alla med totallängden 15 m.

Jordlagerföljden består överst av 2,0 m torrskorpelera och därunder gyttjig lera till ca 9 m djup under markytan. Glacialleran övergår till varvig lera på ca 12 m djup under markytan. Under mätperioden har 0,6 m av torrskorpeleran schaktas bort och ersatts med 0,6 m sand och asfalt. Detta innebär att den nya markytan ligger ca 0,5 m över den ursprungliga markytan. Grundvattenytan har under observationsperioden varierat mellan 1,2 – 1,4 m under ursprunglig markyta.

3.3.4 Försöksplats Guntorp

Provplatsen är belägen invid Bergslagsbanan mellan Alvhem och Nygård på den plats där år 1953 skredet vid Guntorp ägde rum [7]. Totalt har installerats fem stänger (1 m delstänger av sondstål med diametern 20 mm) och alla med totallängden 14 m. Sondstängerna utgör kontrollstation för rälspålar för grundläggning av en betongplatta.

Jordlagerföljden består överst av 3 m makadam (uppfyllning av del som glidit ut) och därunder ett lager med gyttjig lera (ca 1,5 m tjock) som ligger på en torrskorpelera (ca 1,5 m tjock). Under denna följer en grå svartfläckig lera som på ca 11 m djup börjar bli grovsiltskiktad. Vid ca 12 m djup vidtar först grovsilt och sedan sand. Frikationsjorden blir allt grövre med djupet. Grundvattenytan varierar och har observerats 0,3 – 2,2 m under markytan.

3.3.5 Försöksplats Boden

Provplatsen är belägen ca 7 km norr om Bodens station efter Malmбанan mellan Boden och Holmfors. Totalt har installerats fem stänger (1 m delstänger av sondstål med diametern 20 mm) och alla med totala längden 14 m. Två av stängerna blev på grund av olika orsaker (dikning i området) inte möjliga att återfinna. Delar av en av stängerna har dock funnits men det är inte klarlagt från vilken stång.

Jordlagerföljden består av gyttjig lera (sulfidlera) som på 6 m djup blir varvig. På 8 m djup övergår jordarten till lera som mot djupet blir siltig. Grundvattenytan har observerats 0,3 – 1,0 m under markytan.

Stång D och E var illegalt uppdragna vid okänd tidpunkt. En stång, antingen stång D eller stång E, återfanns liggande på marken när stång C drogs upp. Exponeringstiden för den återfunna stängen är osäker och man vet inte vilken stång som hittades. I resultatredovisningen har stängerna D och E endast redovisats för provplatsen men inte tagits med i den fortsatta analysen. Sandegren (1988) har uppgivet två olika resultatserier beroende på om den återfunna stängen var stång D eller stång E.

3.3.6 Försöksplats Kramfors

Provplatsen är belägen ca 1 km söder om Kramfors station efter Ostkustsbanan. Platsen ligger i anslutning till skredet vid Kramfors [6]. Totalt har installerats fem stänger (1 m delstänger av sondstål med diametern 20 mm) och alla med totallängden 11 m.

Jordlagerföljden består av gyttjig lera (sulfidlera) till ca 7 m djup och därunder lera. Leran är bara 0,5 tjock och ligger på ett tunt siltlager. Under detta följer varvig siltig lera som på drygt 10 m djup är grovsiltskiktad och snabbt övergår till lerig silt på grovsilt på 11,5 m djup. Därunder morän på 12 m djup. Området översvämmas vid högvatten så grundvattenytan ligger i eller över markytan. Höga porövertryck har mätts på 4 m djup. Leran under den gyttjiga leran är ”kvick”.

3.3.7 Försöksplats Resteröd

Provplatsen ligger i Resteröd på linjen Göteborg – Strömstad. Intressant är att här fann man en pegel (1 3/4" galvaniserat stålrör) som troligen var nedsatt 1919. Stålröret visade en viss korrosion ned till grundvattenytan (0 – 2,5 m relativt

liten korrosion, 2,5 – 2,75 m relativt betydande korrosion) och sedan ingen märkbar korrosion under grundvattenytan. Det har installerats en stång (1 m delstänger av sondstål med diametern 19 mm) med totallängden 17 m.

Jordlagerföljden består av 2 m torrskorpelera på lera. Leran blir på 11 m djup allt siltigare. Grundvattenytan har uppskattats ligga ca 2,5 m under markytan.

3.3.8 Försöksplats Ugglum

Provplatsen ligger vid en bro belägen ca 2 km VSV om Partille station på sträckan Alingsås – Göteborg. Intressant är att här fanns också en äldre markpegel (38 m lång stång) som enligt dokumentationen var nedslagen 1936. Denna markpegel var vid grundvattenytan. Det har installerats en stång (1 m delstänger av sondstål med diametern 19 mm) med totallängden 40 m. Dessutom sattes som skyddsrör 15 st kolvborrhörprovtagarrör av SJ modell (totalt 15 m).

Jordlagerföljden består av överst torrskorpelera till ca 1,5 m djup och därunder glaciallera till stort djup. Inslag av skal i övre delen och vid 7,0 m djup större inslag av siltlager. Grundvattenytan har observerats (en gång) ca 1,9 m under markytan

Intressant lokal då här finns gamla utredningar där man även med dåtidens kunskap (1956) hade gjort bedömningar av korrosionens storlek.

3.3.9 Försöksplats Gubbero

Provplatsen är belägen utefter linjen Göteborg – Kungsbacka ca 1,5 km från Göteborg C. Består av en stång (1 m delstänger av sondstål med diametern 19 mm) med totallängden 51 m. Stången har inte dragits upp utan finns med sin överkant ca 2,0 m under en fyllning.

3.3.10 Försöksplats Stockholm, Centralstationen

Provplatsen består av två delområden med ca 140 m inbördes avstånd inom Centralstationen i Stockholm. Inom varje delområde har nedsatts fem stänger (tre med centerless-slipade delstänger av 1,0 m sondstål med diametern 20 mm och två med obegagnade delstänger av 0,8 m sondstål med diametern 19 mm). Totallängden var 17,0 respektive 18,4 m i det första delområdet medan alla stänger har längden 16,0 m i delområde 2.

Resultatet från de geotekniska undersökningarna hade förekommit men med stöd av andra borrhningar har följande jordlagerföljd framtagits. Överst en fyllning (sand men även byggnadsrester) ned till ca 8,0 m (provtagning ger 5,5 m) och därunder glaciallera. Grundvattenytan har observerats på ca 2,5 m under markytan.

Stången 2E var illegalt uppdragen vid okänd tidpunkt. Fyra av totalt 20 delstänger från stång 2E återfanns liggande på marken när stängerna 1D, 1E och 2D drogs upp. Exponeringstiden för de återfunna stängerna är osäker. Stång 2E redovisas vid platsredovisningen i figurer, men har inte tagits med i resultatredovisningen.

3.3.11 Försöksplats Solna, Kvarteret Fräsaren nr 8

Provplatsen är i detta fall källaren till fastigheten Fräsaren nr 8. Totalt har installerats sju stänger. Fem av stängerna är 8,8 m långa och sammansatta av centerlesslipade delstänger 1 m långa och med diametern 20 mm samt överst en 0,8 m lång delstång med diametern 19 mm. De två andra stängerna är 8,8 m långa, sammansatta av 11 st obegagnade delstänger 0,8 m långa och alla med diametern 19 mm.

Jordlagerföljden består ned till 1,7 m djup av skredmassor (torrskorpelera, stenig och sandig lera). Därunder följer lerig gyttja på lera som mot djupet blir varvig med silt-skikt. Grundvattenytan har observerats ca 0,3 – 0,8 m under schaktbotten.

Resultaten från mätningarna är mycket motsäggelsefulla och som trolig anledning till detta anges att man i samband med byggnationen kan ha använt några av stängerna för att jorda svetsagregat. Trolig orsak till de varierande resultatet är i detta fall läck-strömmar eller galvanisk korrosion. Även förekomsten av skredmassor kan ha haft viss betydelse för korrosionens storlek.

Observera att detta är den enda platsen i SJ:s undersökning som har en direkt anknytning till en byggnad.

3.3.12 Försöksplats Malmö, Östra Hamnkanalen

Provplatsen ligger i Östra Hamnkanalen i Malmö ca 34 m från befintligt spår. Totalt har installerats fem stänger (1 m delstänger av sondstål med diametern 20 mm) och alla med en total-

längd av 4,0 m.

Jordlagerföljden består överst av kalkhaltig lera som i sin övre del klart kunnat fastställas som lermorän. Mellan 1,7 till 3,0 m förekommer enstaka flintstenar i leran.

3.3.13 Försöksplats Trenså

Provplatsen är belägen utefter linjen Kristianstad – Karlskrona mellan stationerna Trenså och Mårserum ca 20 m från spåret. Totalt har installerats fem stänger (1 m delstänger av sondstål med diametern 20 mm) och alla med en total-längd av 10 m.

Jordlagerföljden består överst av 3,5 m dy och dytorv och därunder ca 1,0 m tjockt lager med gytig lera. Därefter följer en kalkhaltig glacial varvig lera till undersökt djup (9,5 m). Sonderingar ger indikation på fast botten (friktionsjord) på ca 11,2 m djup. Grundvattenytan har observerats ca 0,2 till 2,9 m under markytan.

3.3.14 Försöksplats Kalmar

Provplatsen är belägen intill linjen Emmaboda – Kalmar vid Kalmar södra station ca 9 m från spårmit. Totalt har installerats fem stänger (1 m delstänger av sondstål med diametern 20 mm) och alla med totallängden 4 m.

Jordlagerföljden består överst av 1,0 m grovsiltig sand på lera. Därunder följer ett siltigt finsandlager på silt med lerskikt som övergår till varvig lera. Denna övergår på ca 4 m djup till grovsiltig sand. Grundvattenytan har observerats 2,1 till 2,9 m under markytan.

3.3.15 Försöksplats Vinslöv

Provplatsen är belägen intill järnvägslinjen mellan Hässleholm – Kristianstad och ca 10 m från spårmit. Totalt har installerats fem stänger (1 m delstänger av sondstål med diametern 20 mm) och alla med en totallängd av 5 m.

Jordlagerföljden består överst av 1,0 m dytorv på grovsiltig dy. På ca 2,0 m djup följer ett lager med dyg sand och därefter följer en sandig grovsilt på sand. På djupet 4,0 m under markytan följer varvig silt och lera som vid 6,0 m djup övergår i silt. Grundvattenytan har observerats på djupet 0,0–0,8 m under markytan.

3.3.16 Försöksplats Jönköping

Provplatsen är belägen utefter den kvarliggande delen av den nerlagda järnvägen Jönköping – Ulricehamn, ca 9 m från spårmit. Totalt har installerats fem stänger (1 m delstänger av sondstål med diametern 20 mm) och alla med en totallängd av 8 m.

Jordlagerföljden består överst av 1,5 m sand (troligen fyllning) på en omväxlande lagerföljd av växlande leriga, siltiga och sandiga sediment med varierande organisk halt. Grundvattenytan har observerats 0,8–2,0 m under markytan.

3.3.17 Försöksplats Hällby

Provplatsen är belägen utefter stickspåret till Nyby bruk. Totalt har installerats tre stänger (1 m delstänger av sondstål med diameter 20 mm) och alla med en totallängd av 3 m. Dessutom en 3 m lång T-profil (30 x 30 x 4 mm).

Uppgifter om jordlagerföljden saknas. Avsikten med provningen var att jämföra korrosionen i den luftade zonen mellan stänger med cirkulärt tvärsnitt och en T-profil.

Då uppgifter om jordlagerföljden saknas har denna plats ej tagits med i databasen.

3.3.18 Försöksplats Kalix

Provplatsen är belägen vid godsmagasinet i Kalix. Totalt har installerats två stänger (1 m delstänger av sondstål med diametern 20 mm) och båda med en totallängd av 3 m.

Jordlagerföljden består överst av grus (troligen fyllning) på dytorv, varefter följer finsand på lera. Denna övergår på drygt 1,5 m djup till grovsiltig, finsandig lera.

Då stängerna inte har vägts före installationen är korrosionens storlek osäker och uppgifterna har därmed inte tagits med i databasen.

3.3.19 Försöksplats Umeå

Provplatsen är belägen ca 5 km NV om centrala Umeå och ca 300 m från järnvägen. Totalt har installerats sex stänger (1 m delstänger av sondstål med diametern 20 mm) och med totallängderna 10, 5, 5, 10, 5 och 4 m. En mycket intressant provplats, men det hände flera missöden vad gäller uppdragning, t ex att fel stång togs upp

samt slutligen att provplatsen raserades av markägaren. Man gjorde prov med olika kemikalietillsatser för att påverka korrosionshastigheten i svartmocka.

Jordlagerföljden består av gyttjig lera (sulfidlera) till större djup än 6,5 m. Grundvattenytan har uppskattats ligga i eller strax under markytan.

Stång A, stång B, stång C, stång D, stång E och stång G var illegalt uppdragna vid okänd tidpunkt. Stängerna återfanns liggande på marken när stång A skulle dras upp i november 1975. Stång G återfanns aldrig. Exponeringstiden för stängerna A, B, C, D och E är osäkra. Korrosionshastigheten för stängerna A, B, C, D och E redovisas bara för provningsplatsen men resultatet tas inte med för övrigt.

3.3.20 Försöksplats Borlänge

Provplatsen är belägen vid det nya stationshuset i Borlänge. Totalt har installerats tre stänger (1 m delstänger av sondstål med diametern 20 mm) där två hade totallängden 15 m och den tredje totallängden 16 m.

Jordlagerföljden består överst av något lerig grovsilt på silt som vid 6,0 m djup övergår till finsand. Jordarten under 6,0 m djup bedömdes med stöd av sonderingen vara densamma som på 6,0 m djup. Grundvattenytan har observerats ca 0,7 m under markytan.

3.4 REDOVISNING AV KORROSIONEN MOT DJUPET I MARK PÅ PROVPLATSERNA

Korrosionen har mätts som en viktninskning hos de enskilda stängdelarna. Denna viktninskning har omräknats till en ekvivalent minskning av stängens radie. Omräkningen görs då under antagandet att korrosionen är jämnt fördelad över tvärsnittet som en medelkorrosion. Det har inte varit möjligt att ur mätningarna särskilja gropkorrosion och den jämna korrosionen.

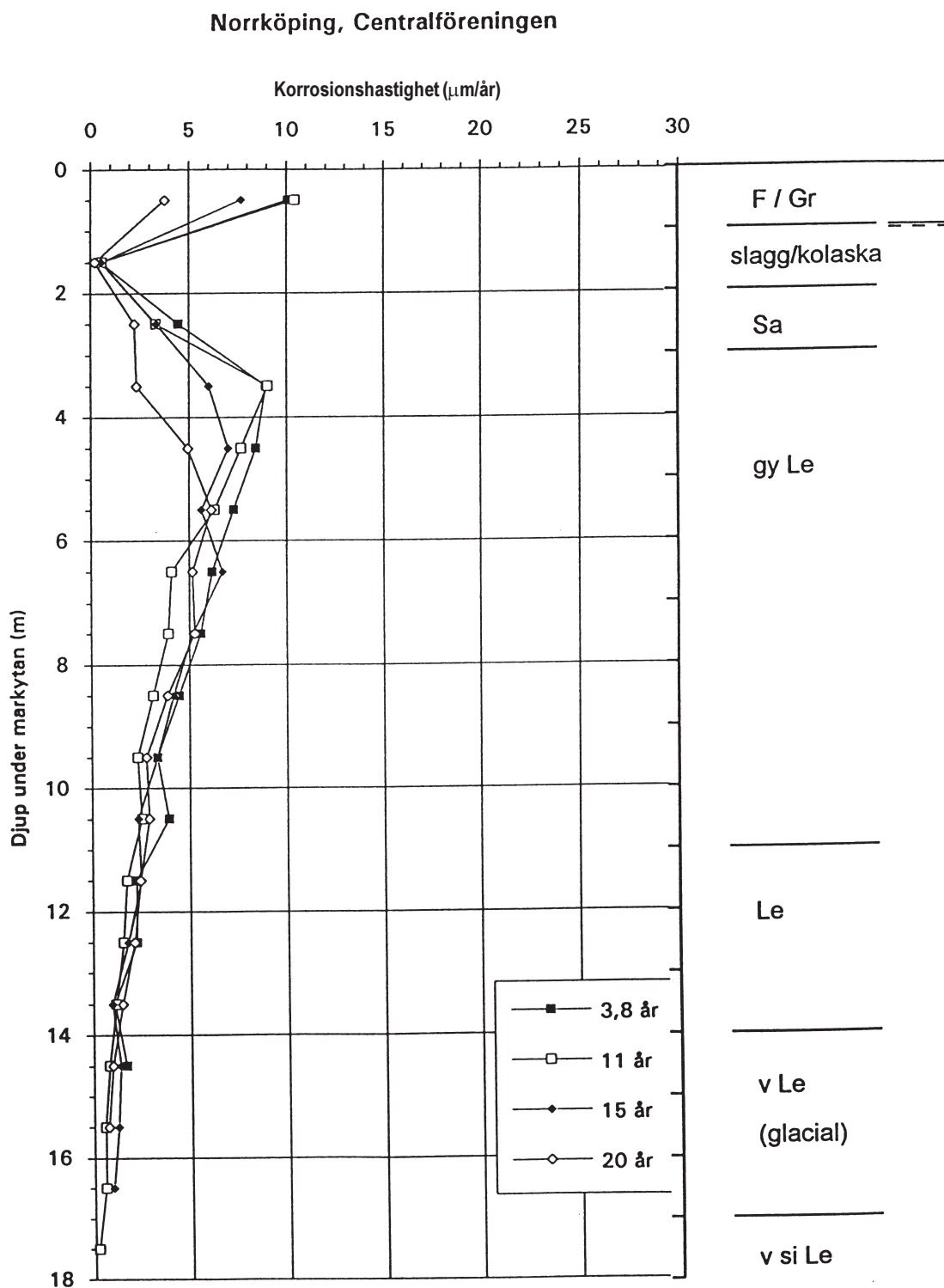
Med hjälp av exponeringstiden genomförs en beräkning av hastighet för medelkorrosionen. Hastigheten för medelkorrosionen redovisas lokal för lokal i de enskilda figurerna, **Figur 3.4.1 – 3.4.16**. I de enskilda figurerna finns dessutom en förenklad jordprofil med jordlagerföljd och grundvattenytan i det övre grundvattenmagasinet (akvifären).

I **Figur 3.4.1 – 3.4.16** redovisas för de olika stängerna beräknad medelkorrosionshastighet mot djup i mark. För varje lokal finns normalt stänger med lite olika exponeringstid.

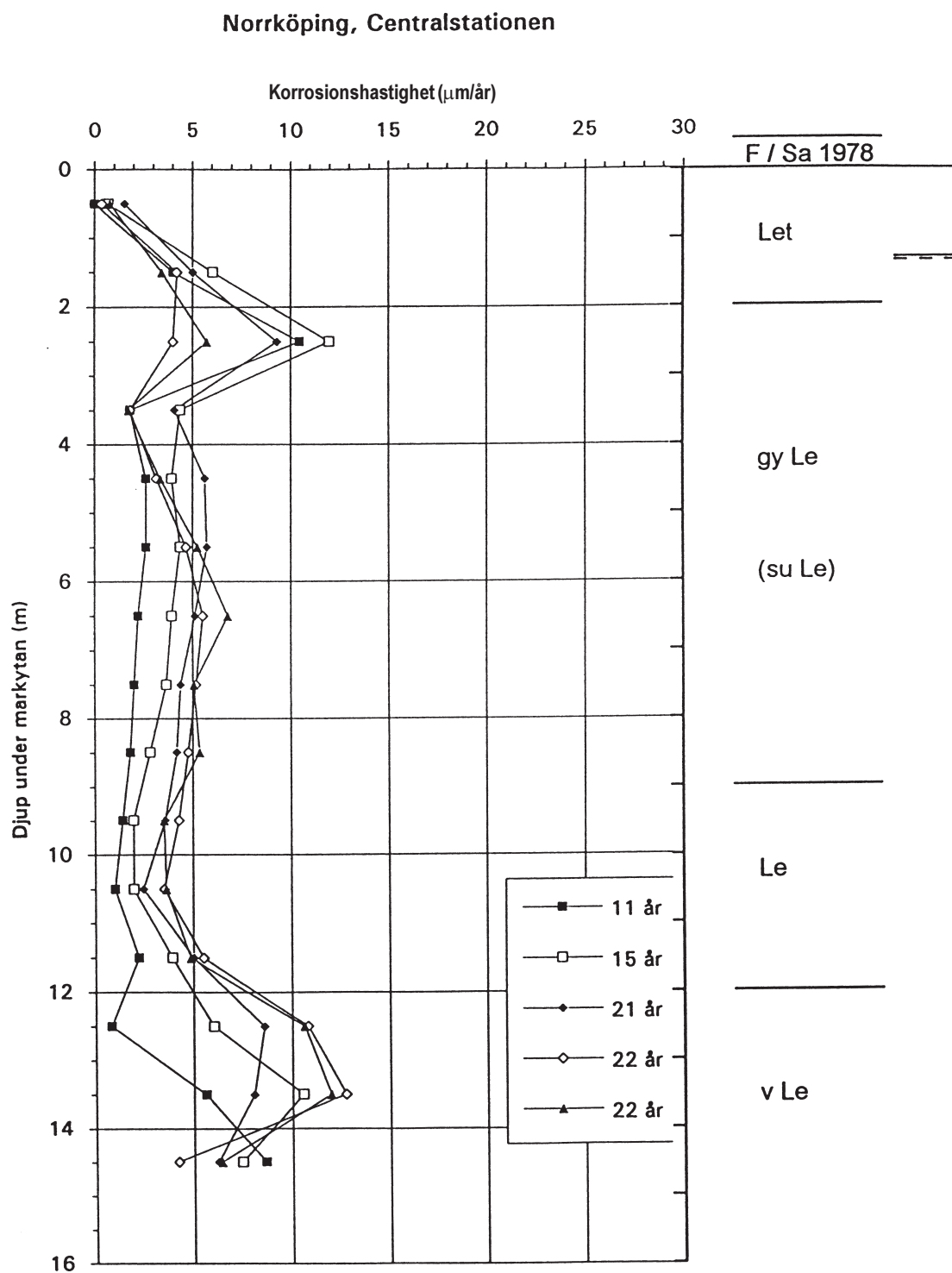
Vid beskrivningen av jordprofilen har använts normala geotekniska förkortningar.

För platserna Solna, kvarteret Fräsaren nr 8 och Boden har uppmätts hastigheter på medelkorrosionen som på enskilda djup är större än 30 mm/år. För dessa lokaler redovisas resultatet även i en annan skala i **Figur 3.4.17 – 3.4.18**.

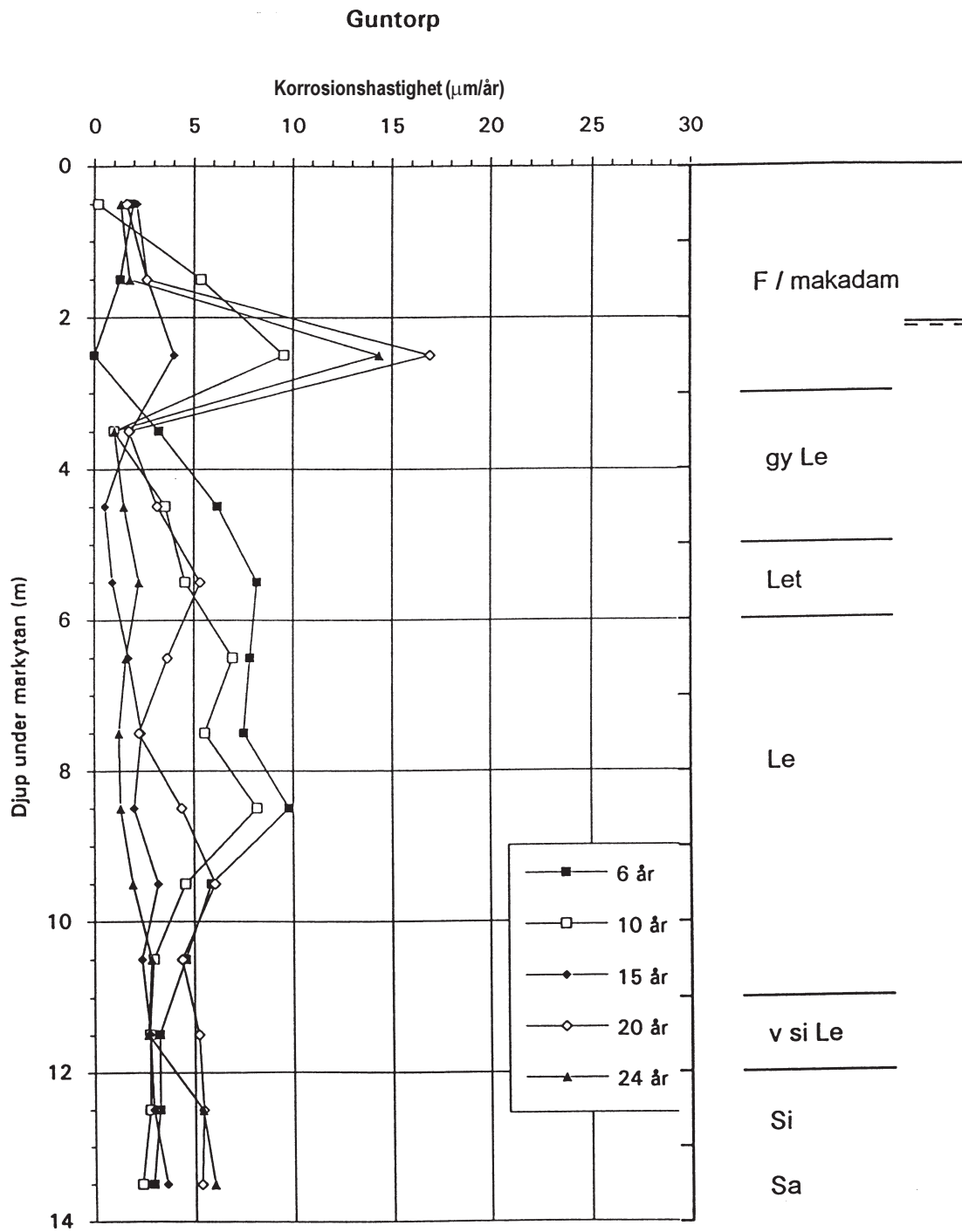
I SJ:s slutrapport, Sandegren (1988) finns detaljerade kommentarer för varje provplats angående resultaten från mätningarna.



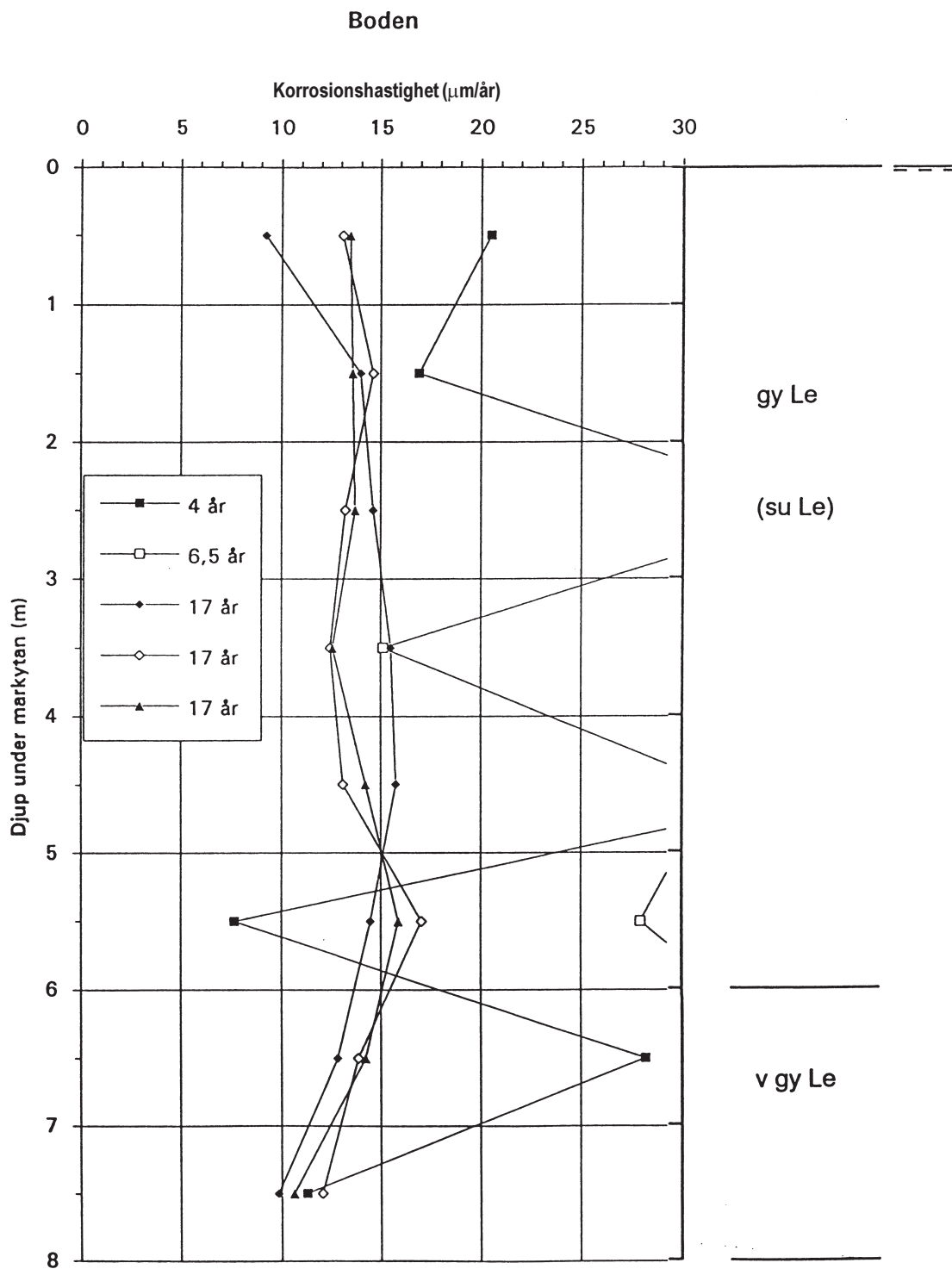
Figur 3.4.1 Försöksplats Norrköping, Centraföreningen.
Test Site Norrköping, Centraföreningen.



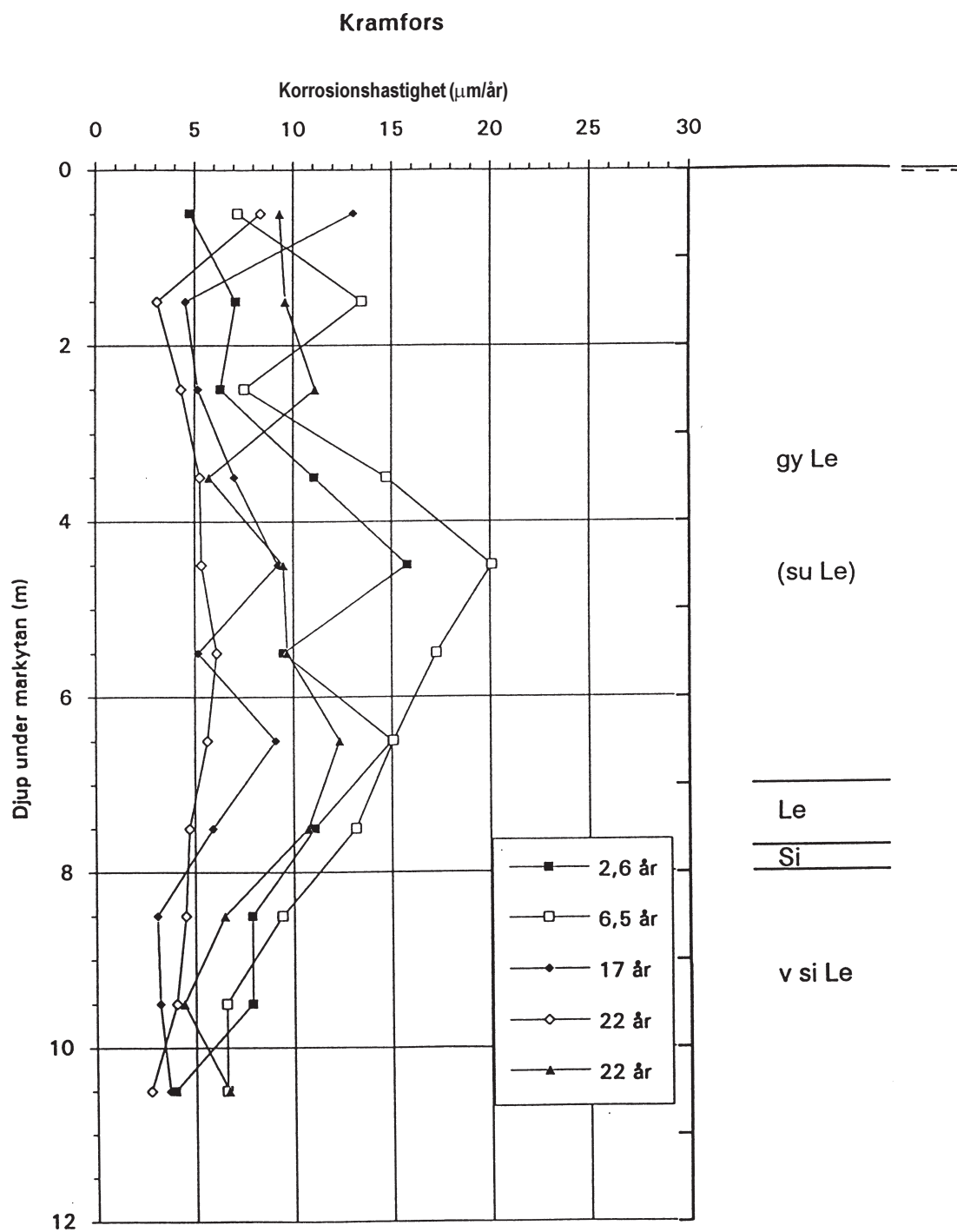
Figur 3.4.2 Försöksplats Norrköping, Centralstationen.
Test Site Norrköping, Centralstationen.



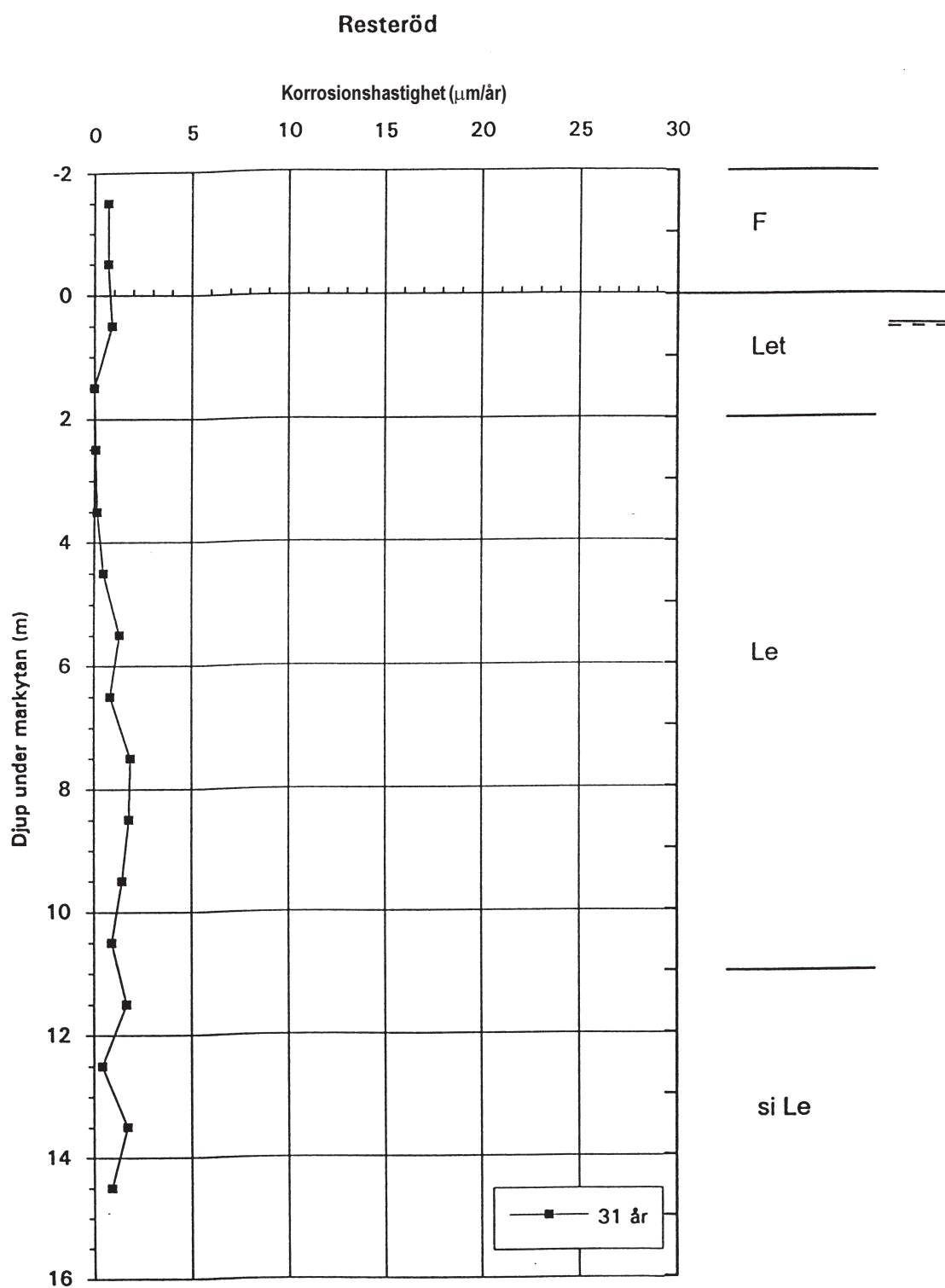
Figur 3.4.3 Försöksplats Guntorp.
Test Site Guntorp.



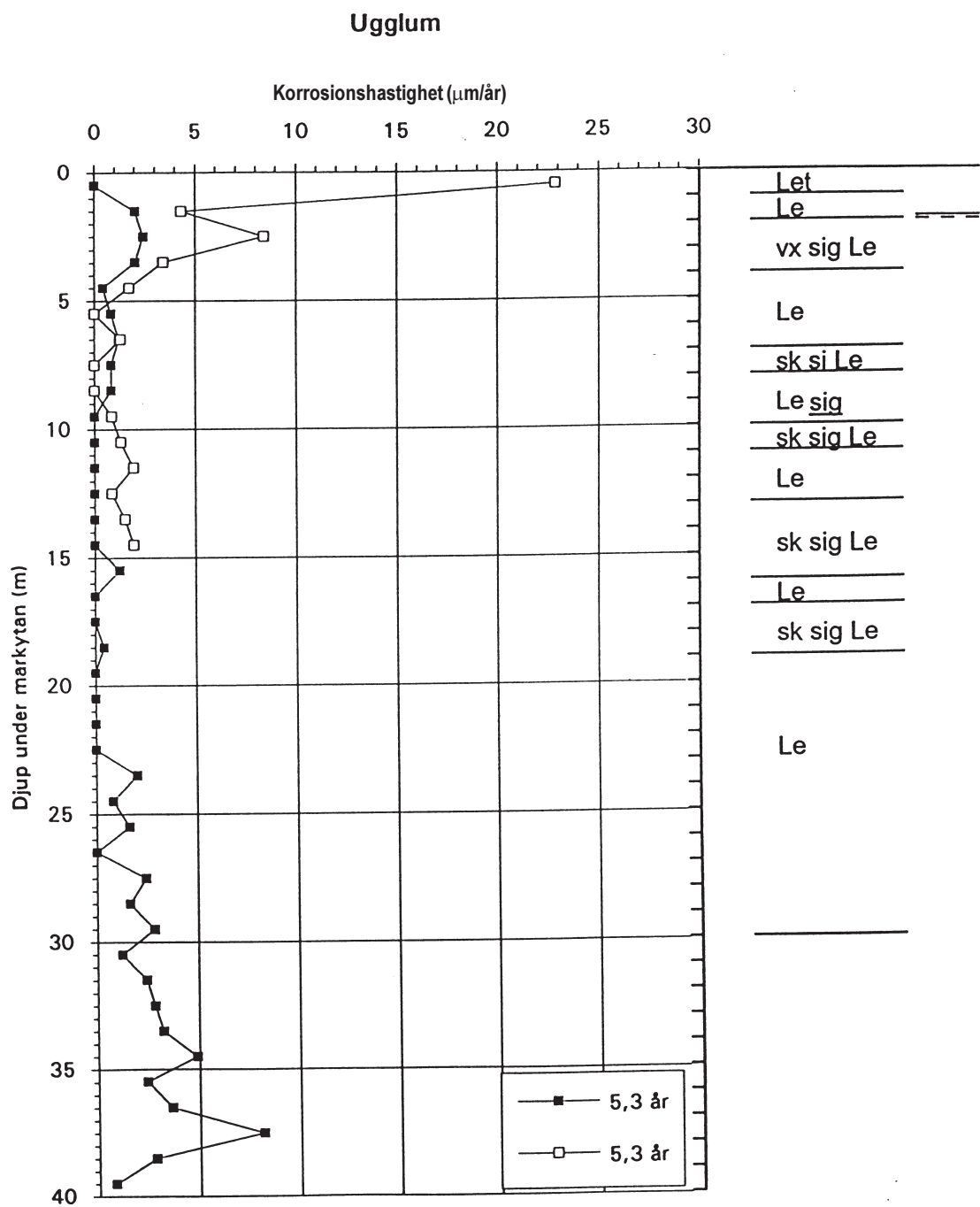
Figur 3.4.4 Försöksplats Boden.
Test Site Boden.



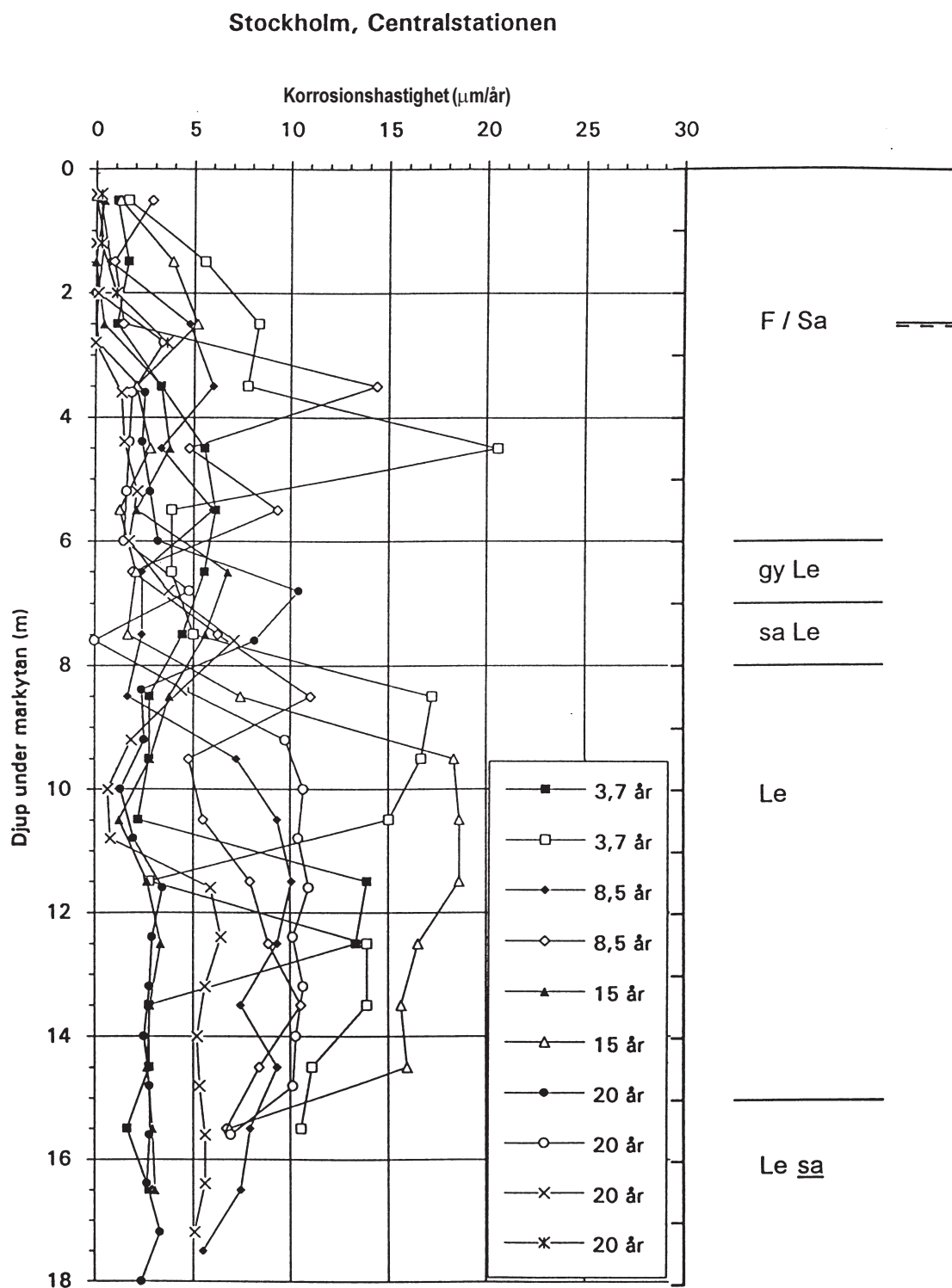
Figur 3.4.5 Försöksplats Kramfors.
Test Site Kramfors.



Figur 3.4.6 Försöksplats Resteröd.
Test Site Resteröd.

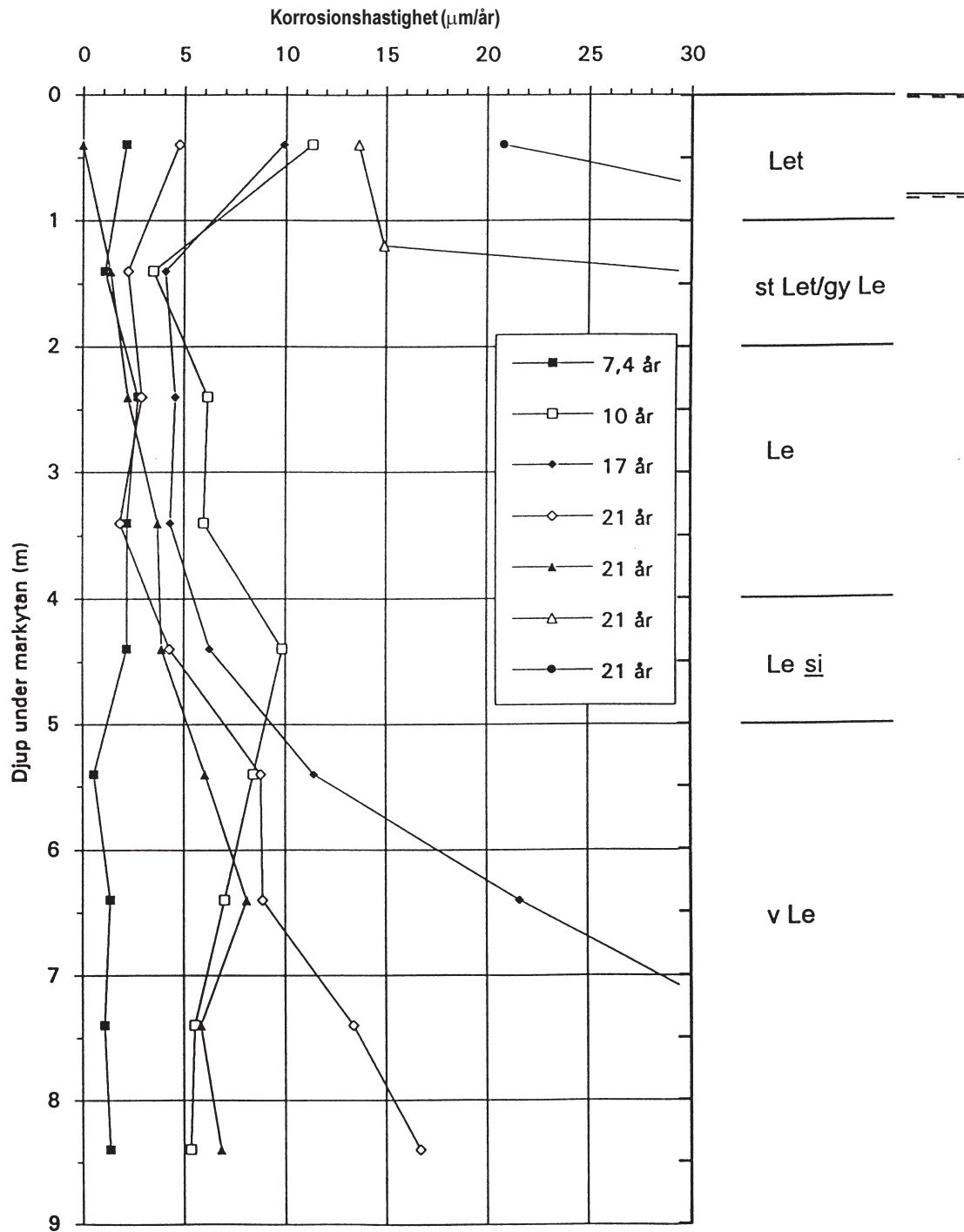


Figur 3.4.7 Försöksplats Ugglum.
Test Site Ugglum.

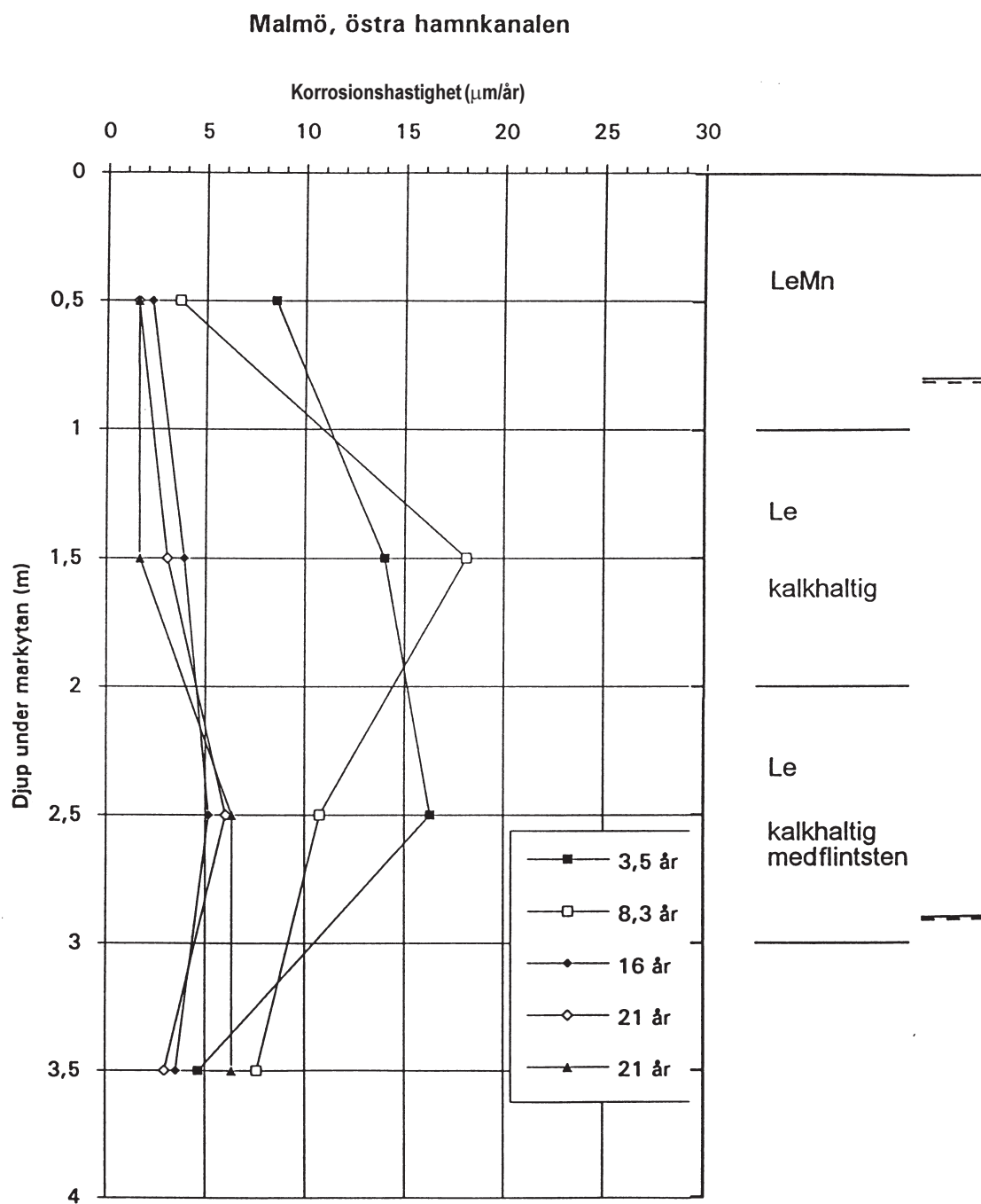


Figur 3.4.8 Försöksplats Stockholm, Centralstationen.
Test Site Stockholm, Centralstationen.

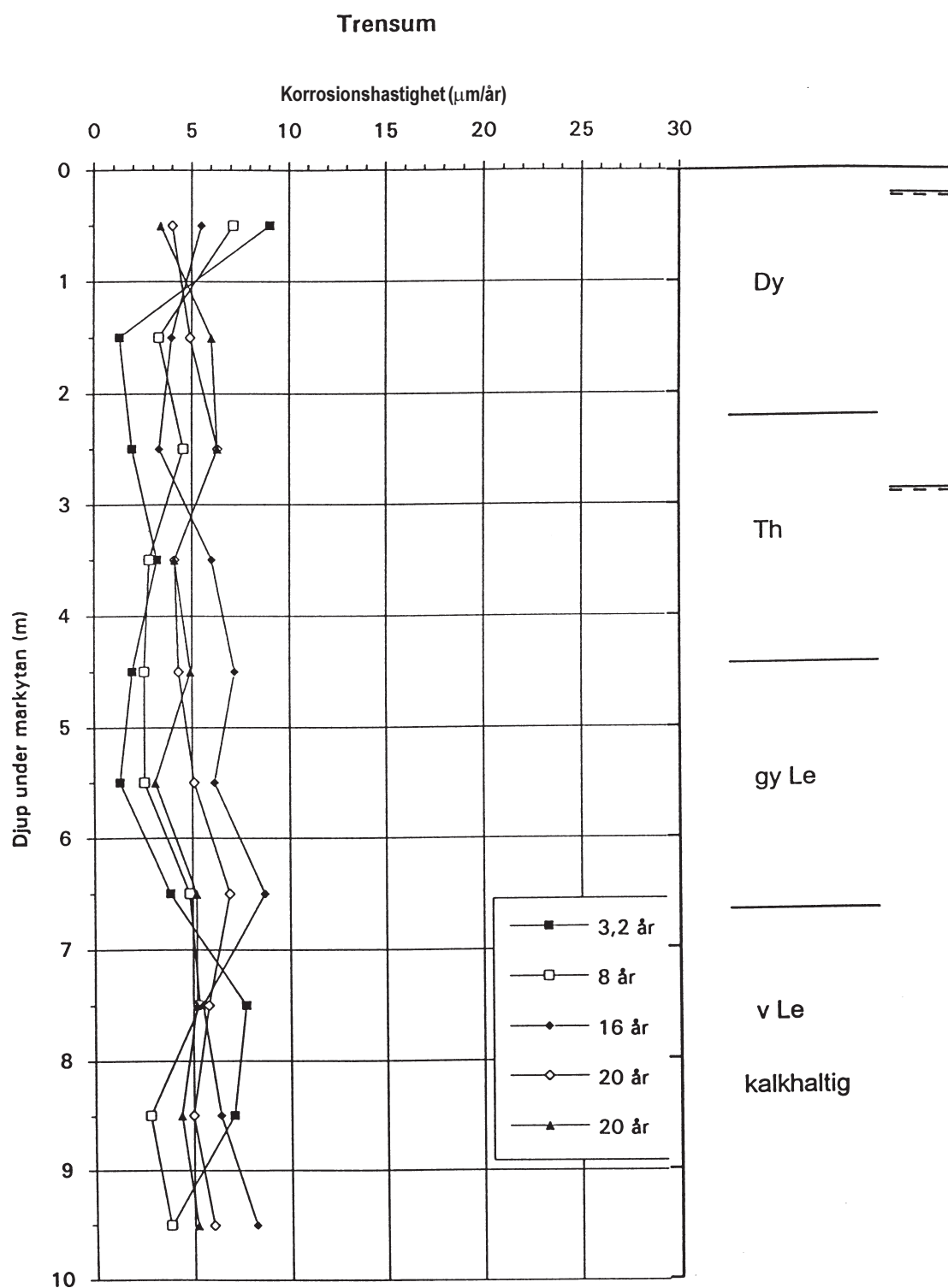
Solna, kvarteret Fräsaren



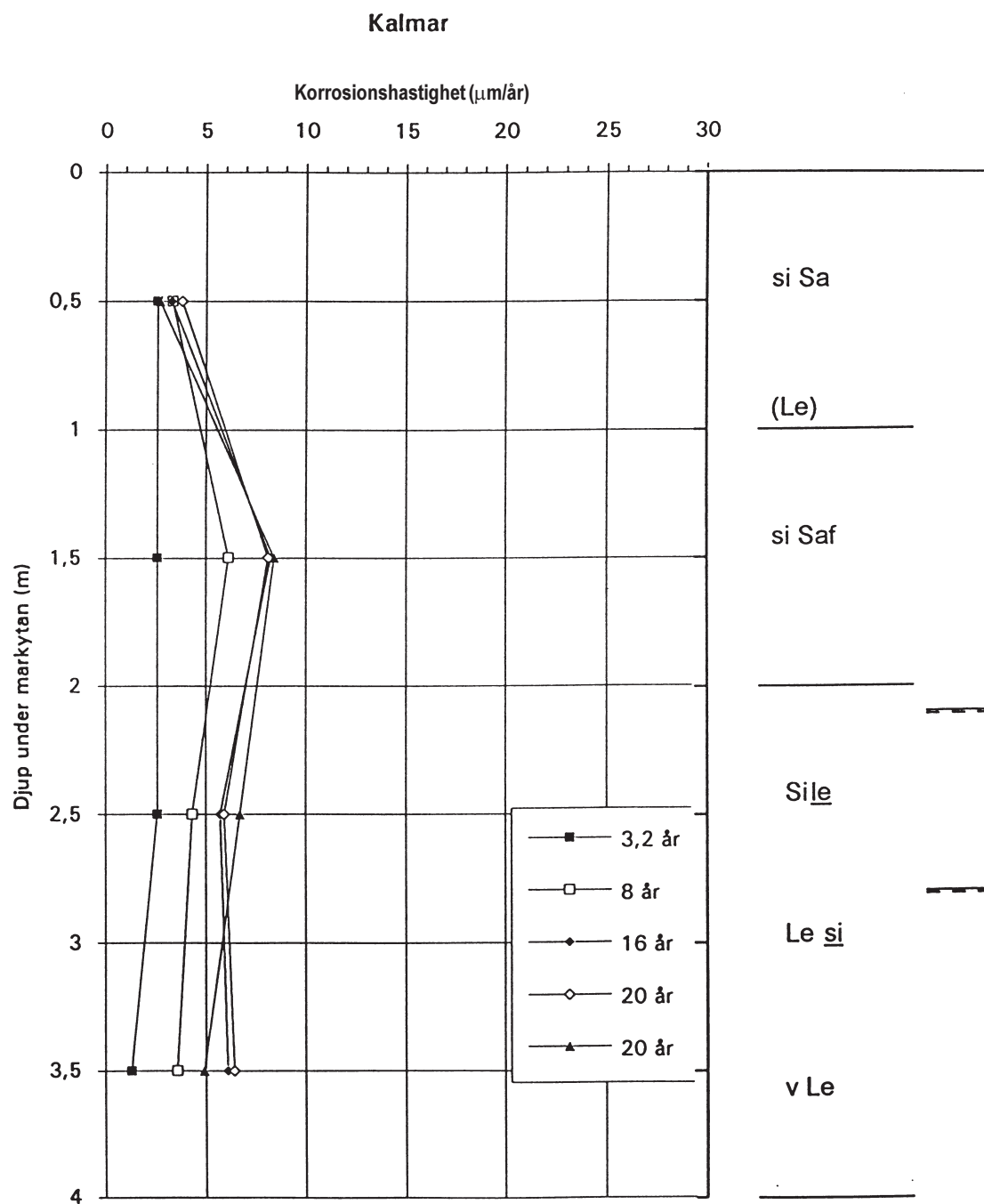
Figur 3.4.9 Försöksplats Solna, Kvarteret Fräsaren.
Test Site Solna, Kvarteret Fräsaren.



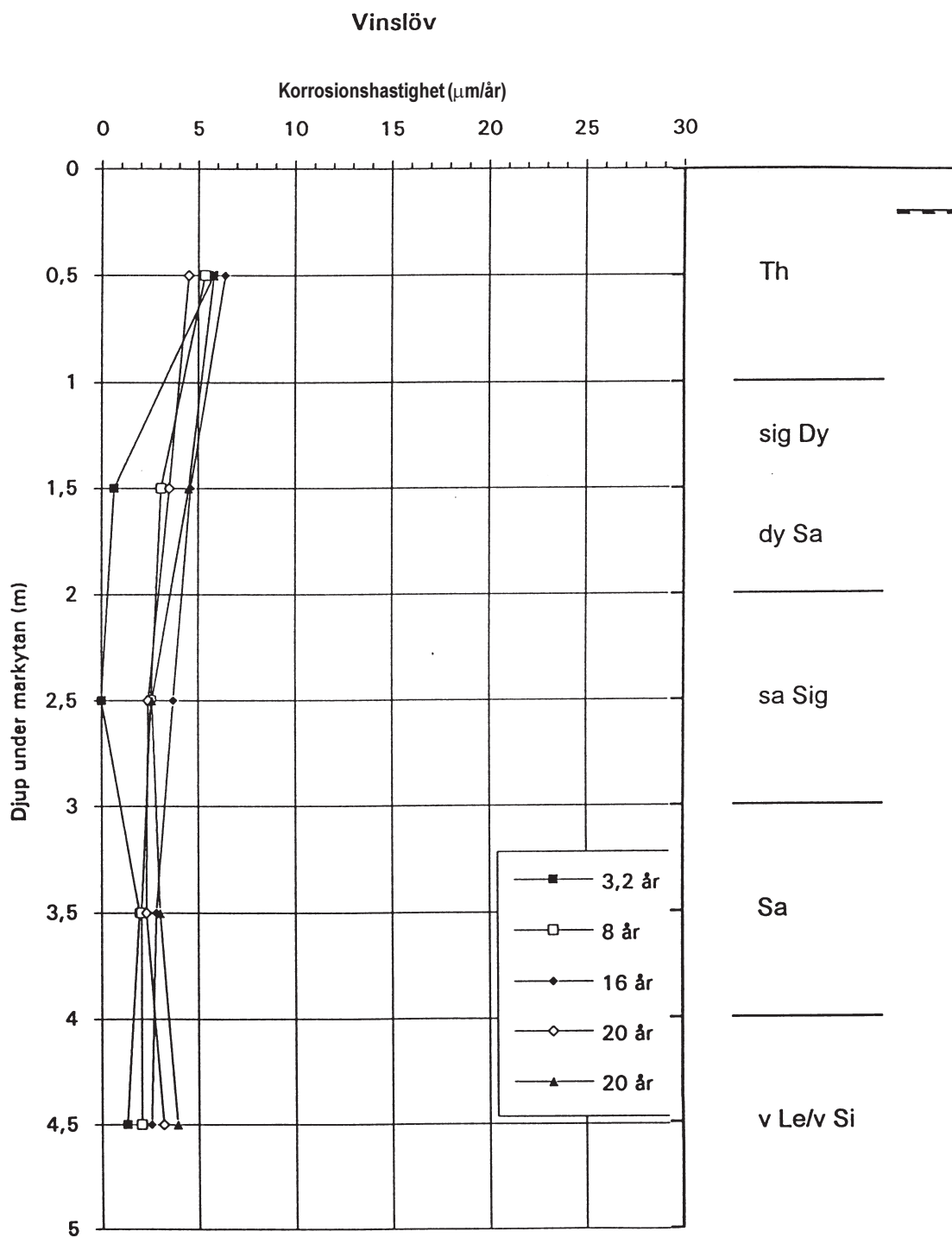
Figur 3.4.10 Försöksplats Malmö. Östra Hamnkanalen.
Test Site Malmö, Östra Hamnkanalen.



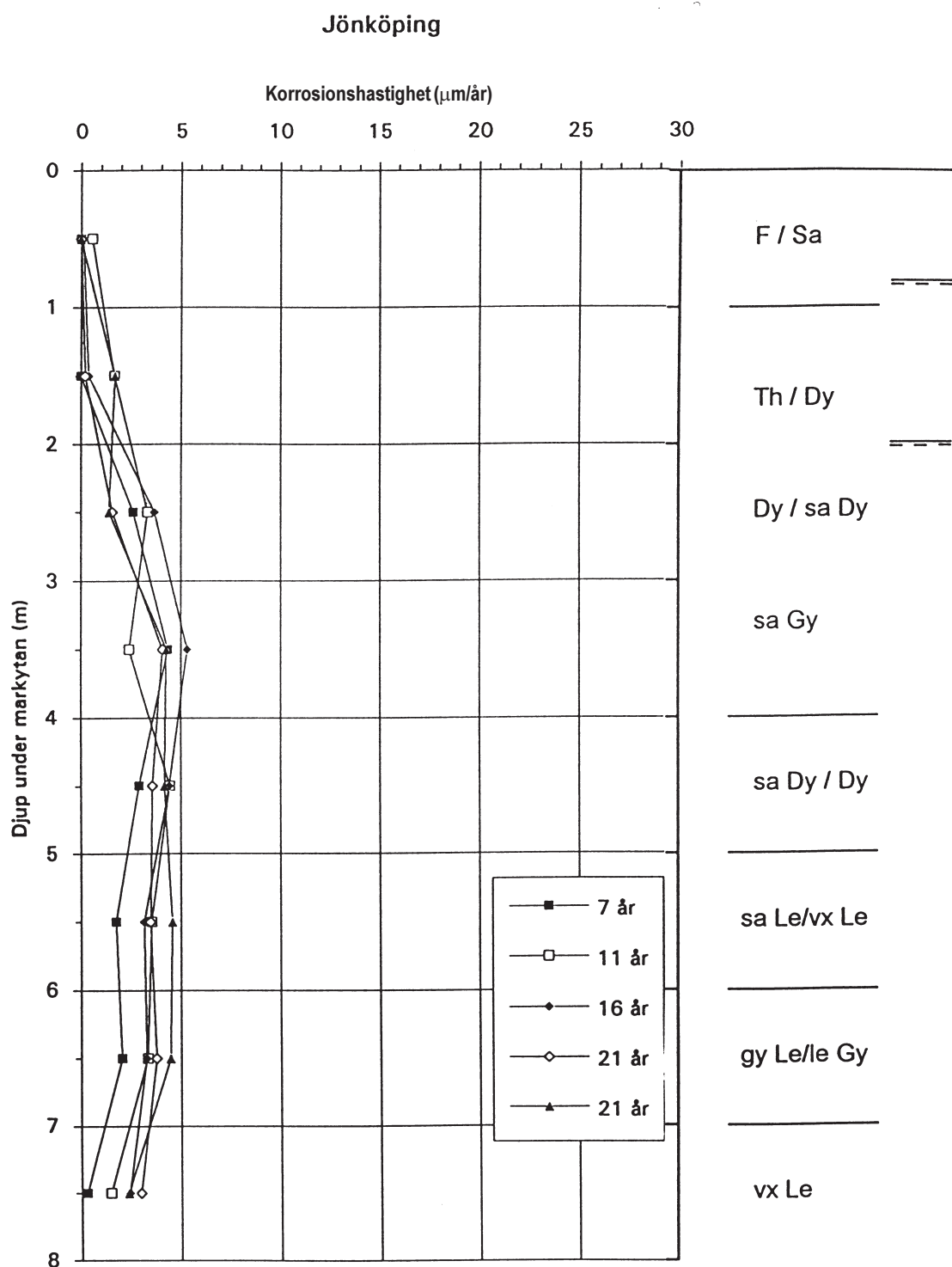
Figur 3.4.11 Försöksplats Trensum.
Test Site Trensum.



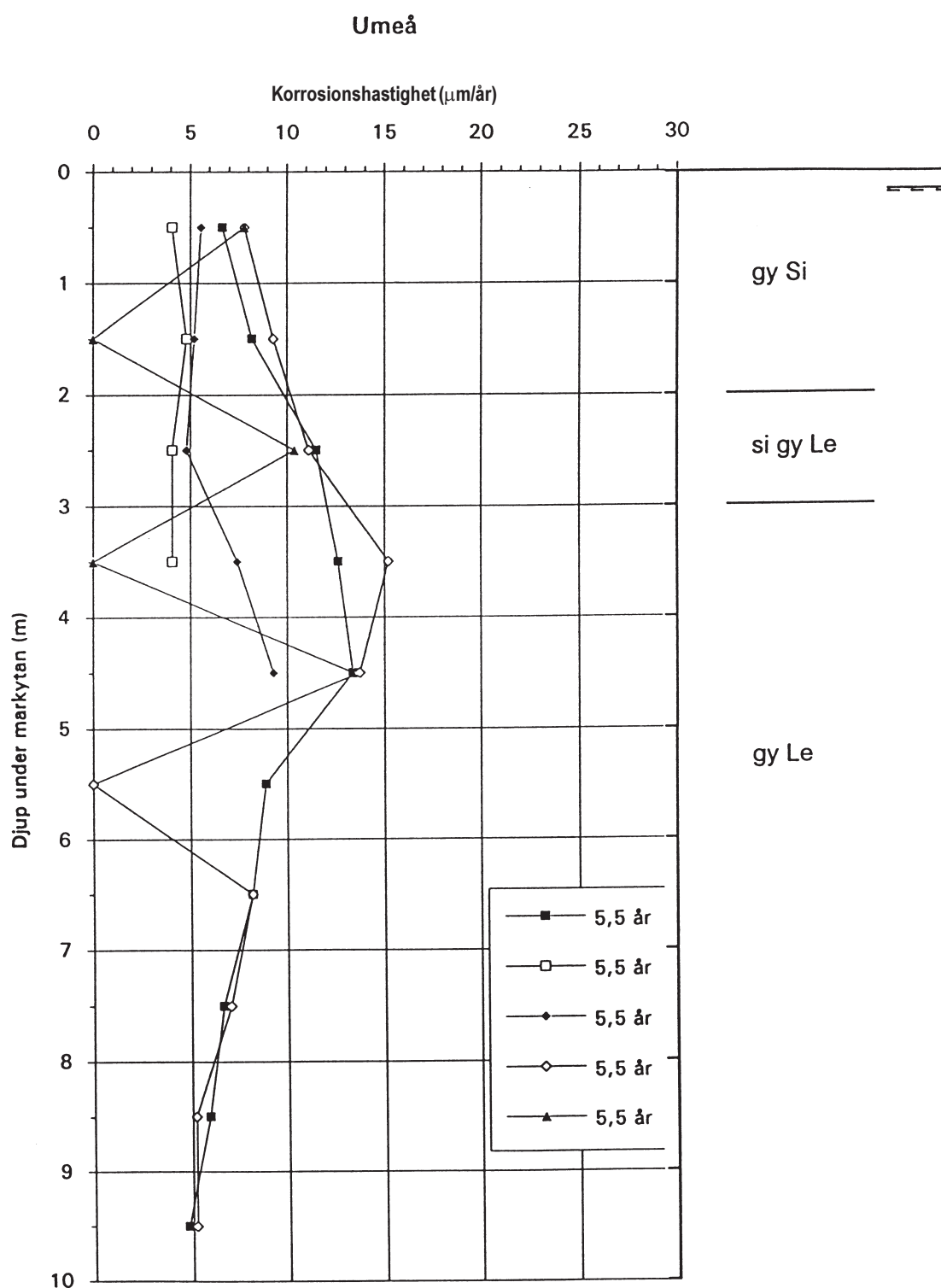
Figur 3.4.12 Försöksplats Kalmar.
Test Site Kalmar.



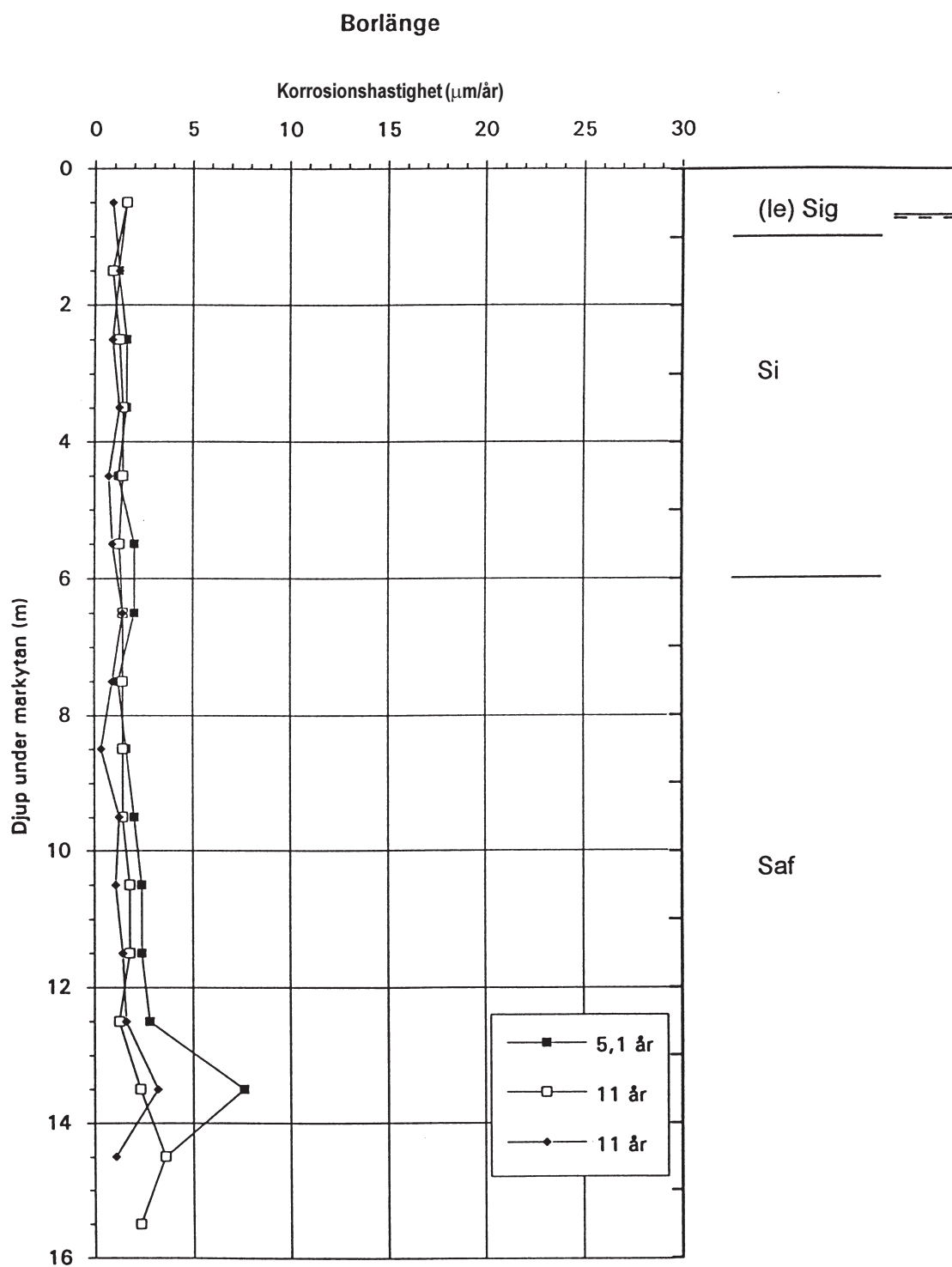
Figur 3.4.13 Försöksplats Vinslöv.
Test Site Vinslöv.



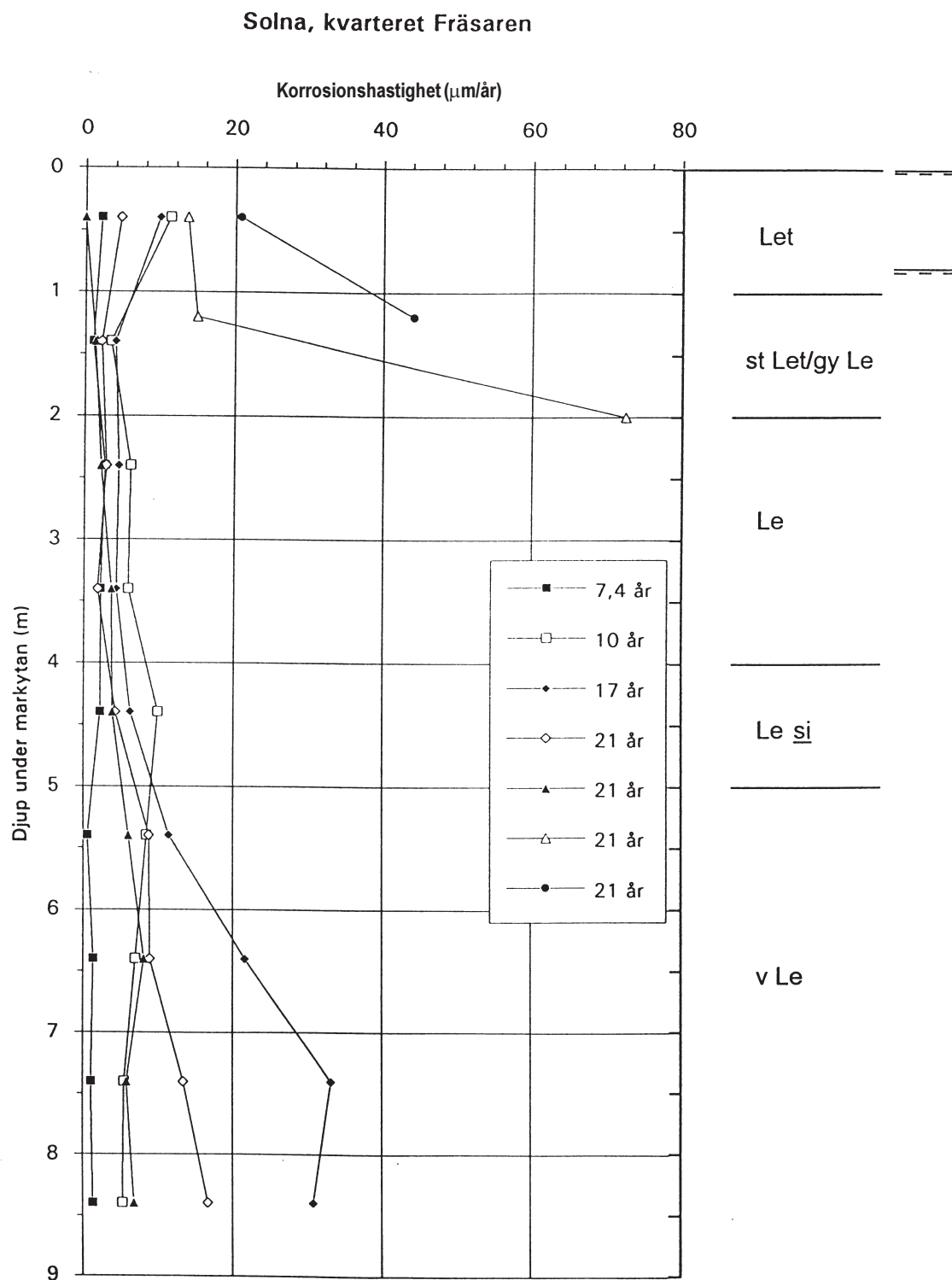
Figur 3.4.14 Försöksplats Jönköping.
Test Site Jönköping.



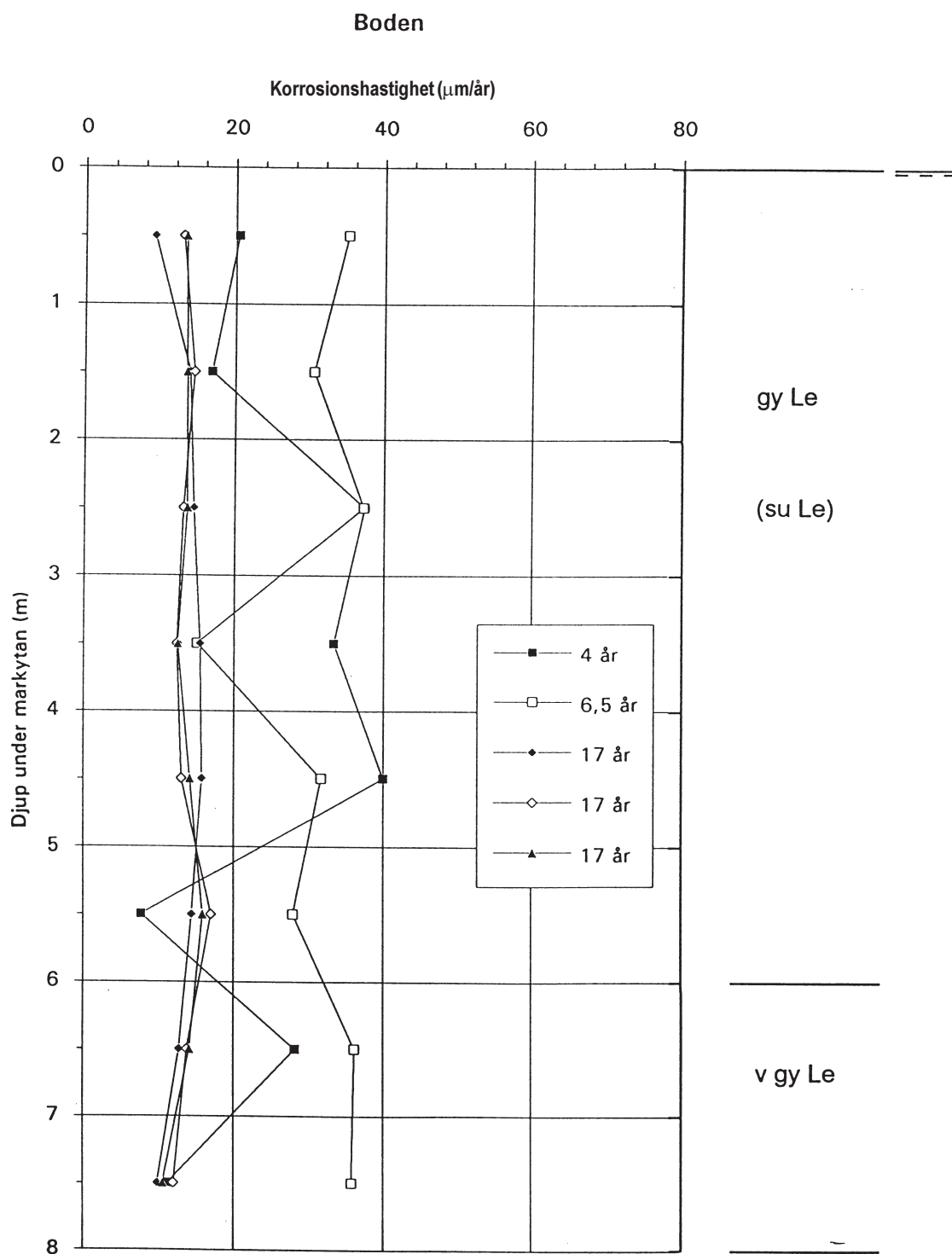
Figur 3.4.15 Försöksplats Umeå.
Test Site Umeå.



Figur 3.4.16 Försöksplats Borlänge.
Test Site Borlänge.



Figur 3.4.17 Försöksplats Solna, Kvarteret Fräsaren.
Test Site Solna, Kvarteret Fräsaren.



Figur 3.4.18 Försöksplats Boden.
Test Site Boden.

4 Statistisk bearbetning av SJ:s undersökningsresultat

4.1 METODIK

Målsättningen har varit att om möjligt sammanställa allt det material som finns redovisat i SJ:s undersökningar, Sandegren (1988).

När det gäller korrosionens storlek har detta inte inneburit några problem utan de värden som har använts har valts helt enligt Sandegren (1988). Med stöd av viktninskningen uttryckt som g/m^2 per år och exponeringstid har övriga mått på korrosionen beräknats.

När det gäller stängernas placering i vertikalled har uppgifterna i SJ:s slutrapport använts.

För att kunna utvärdera samspel mellan korrosionens storlek och jordparametrar behöver man ange jordegenskaperna på samma djup som delstängerna har installerats. I databasen krävs om möjligt att man för varje delstång även har motsvarande egenskap för jorden. I detta fall har valts att använda egenskaperna

- jordart
- naturlig vattenkvot
- resistivitet
- pH-värde

För att kunna utnyttja materialet mer effektivt har valts att göra en indelning av jorden i form av typjordar. De valda typjordar redovisas i **Tabell 4.1.1** och valet är influerat av de valda typjordarna i Rapport 93, Camitz (1994).

För egenskaperna resistivitet och pH-värde har en noggrann genomgång av befintligt material genomförts av Tor-Gunnar Vinka vid ett personligt besök våren 1996 på Banverkets arkiv i Borlänge. Genomgången genomfördes med stöd av Erik Sandegren på plats i Borlänge. De reviderade värdena har använts i databasen.

4.2 ETABLERING AV DATABAS

För att enkelt göra det möjligt att senare överföra indata (basmaterialet) till andra program användes programmet EXCEL som stöd vid etablering av databasen. Senare förväntas man tillföra resultat från senare utförda mätningar både från Sverige och andra länder.

Uppläggning av databasen och inmatning av all indata förutom resistivitets- och pH-värden genomfördes under våren 1995. Inmatning av resistivitets- och pH-värden samt en första utvärdering genomfördes under våren 1996. Viss revidering och kontroll genomfördes under hösten 1996.

Utdrag ur databasen redovisas i **BILAGA 1**. Varje delstång redovisas på en rad med totalt 16 kolumner för varje delstång. Utformningen av databasen vad gäller valda kolumner framgår av **BILAGA 1**.

Tabell 4.1.1 Indelning i typjordar.

Typjord nr	Benämning
1	Sand, grus, sandiga/grusiga moräner
2	Lera, silt, leriga/siltiga moräner ("ej organiska")
3	Gyttig lera/silt, gyttja, torv, dy och sulfidlera ("organiska")
4	Okontrollerad fyllning (naturlig jord)
5	Strandnära jordar på västkusten (starkt salthaltigt grundvatten)
6	Sprängsten, grovt grus, grov kross etc i vatten
7	Slagg, kolaska

Sökvillkoret har valts så att man kan utnyttja samtliga 16 kolumner under varje sökning, se BILAGA 1. De sexton kolumnerna är

1. Plats (sifferkod 1–19).
2. Stångdel.
3. Djup under markytan i m.
4. Exponeringstid i år.
5. Hastighet för medelkorrosionen i g/m² per år.
6. Hastighet för medelkorrosionen i µm/år. Fås genom att dividera kolumn 5 med densiteten hos stålet som antagits till 7,8 t/m³.
7. Logaritmen för kolumn 6.
8. Medelkorrosionen i µm. Fås genom att multiplicera kolumn 4 och kolumn 6.
9. Läge för grundvattenytan i m. Djup under markytan till grundvattenytan.
10. Jordart i typjordar enligt tabell 4.1.1 ovan.
11. Jordart. Geoteknisk förkortning.
12. Jordens naturliga vattenkvot i %.
13. Jordens resistivitet i Ωm.
14. Jordens pH-värde.
15. Ett tal som är 0 eller 1. Användes för att särskilja mellan korta och långa exponeringstider. 0 innebär då korta exponeringstider och 1 långa exponeringstider.
16. Ett tal som är –1, blankt eller 1. Användes för att för varje stång utmärka maximal korrosion ovan respektive under grundvattenytan. Talet –1 innebär delstång som uppvisar maximal korrosion ovan grundvattenytan. Talet 1 innebär den delstång som uppvisar maximalt värde på korrosionen under grundvattenytan.

Resultatet av en sökning redovisas som en tabell med de delstänger som uppfyller sökvillkoret samt dessutom som några statistiska mått på de delstänger som uppfyller sökvillkoret, se BILAGA 1. De statistiska måtten gäller för de delstänger, som uppfyller sökvillkoret

- antalet stänger
- minsta och maximala värde (på hastigheten för medelkorrosionen)
- medelvärde och standardavvikelse för en normalfördelning
- medelvärde och standardavvikelse för en log-normalfördelning
- en tabell som ger antalet delstänger som en korrosionshastighet som understiger visst

värde (tabellen gör det möjligt att enkelt skapa en frekvensfunktion för korrosionen)

Det maximala värdet på medelkorrosionshastigheten i databasen är 73 µm/år. Totala antalet observationer i databasen är 821 st.

4.3 SAMBAND MELLAN KORROSIONENS STORLEK OCH JORDART

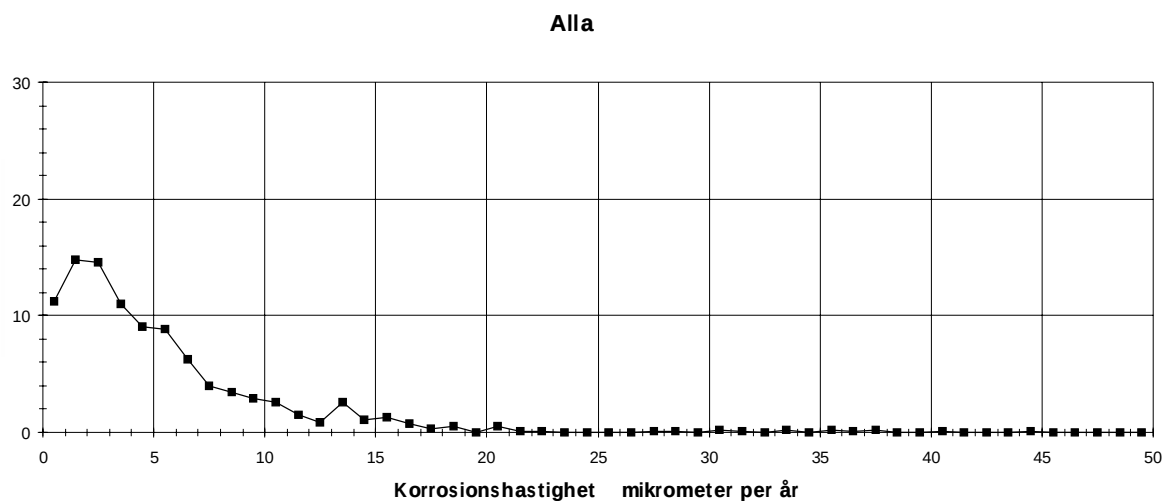
Vid bedömning av korrosionens storlek kan en möjlig indelningsgrund vara jordarten eller typ av jord. Detta sätt har använts i Rapport 93, Camitz (1994) och innebär att det indirekt finns en koppling mellan jordart och de egenskaper hos jorden som påverkar korrosionens storlek i jord.

I detta fall har valts att utnyttja indelningen ovan i sju olika typjordar, se [Tabell 4.1.1](#).

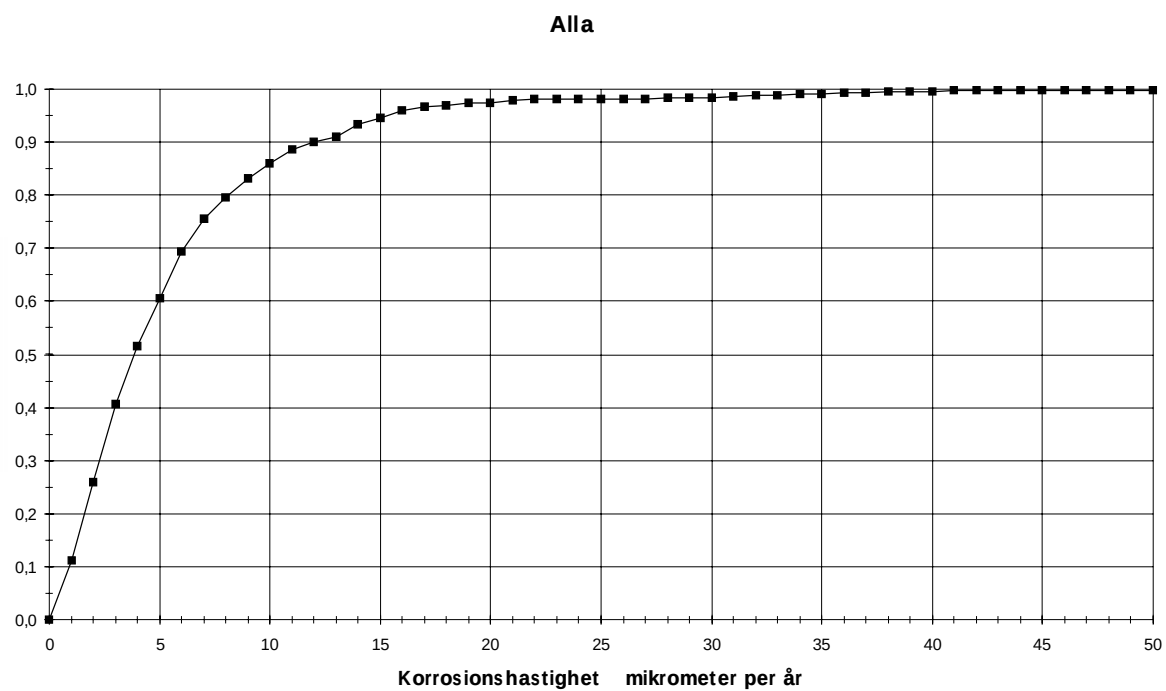
I [Figur 4.3.1](#) redovisas ett frekvensdiagram över hastigheten för medelkorrosionen för alla delstänger utan indelning i typjordar. I diagrammet är frekvens = antal observationer / totala antalet observationer.

Med stöd av diagrammet kan man genomföra beräkningar av statistiska mått för egenskapen. Normalt brukar man som statistiska mått redovisa medelvärde och standardavvikelse. Där medelvärde anger någon form av normalvärde medan standardavvikelse anger spridningen kring medelvärdet. För att kunna ange medelvärde och standardavvikelse måste man även ange egenskapens fördelningstyp. Det normala är att man antar en normalfördelning. För egenskaper som inte kan ha negativa värden brukar man även antaga en log-normalfördelning om man vill beskriva den nedre delen (låga värden) av egenskapen. I detta fall innebär detta för en normalfördelning att man får ett medelvärde av 5,5 µm/år och en standardavvikelse av 6,1 µm/år. Detta innebär en variationskoefficient (= standardavvikelse / medelvärde) av 1,2. För en lognormalfördelning fås ett medelvärde av 3,7 µm/år och en variationskoefficient av 0,75.

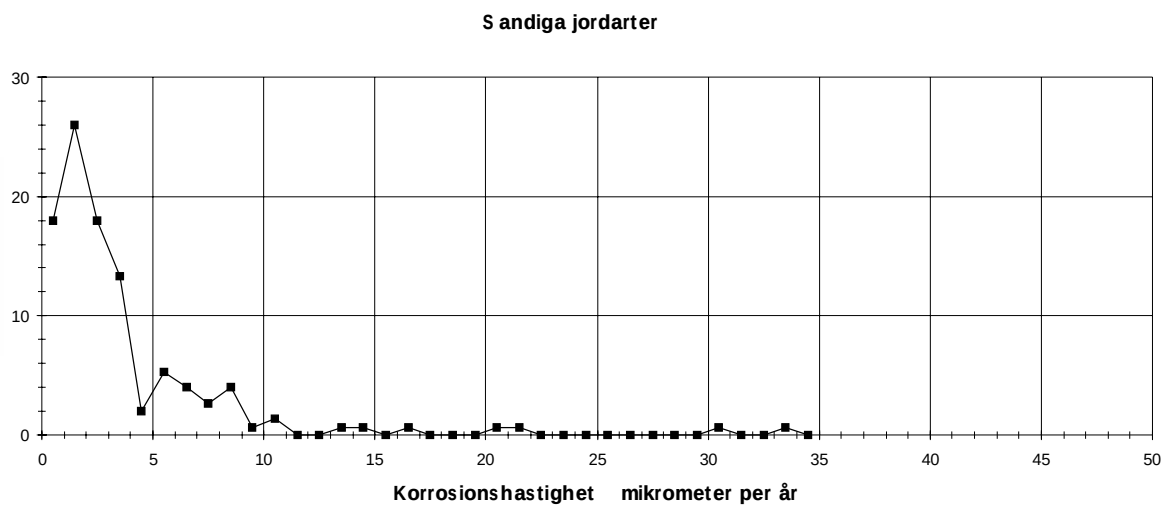
I [Tabell 4.3.1](#) redovisas statistiska parametrar för korrosionshastighet för varje provplats och i [Tabell 4.3.2](#) för typjordarna.



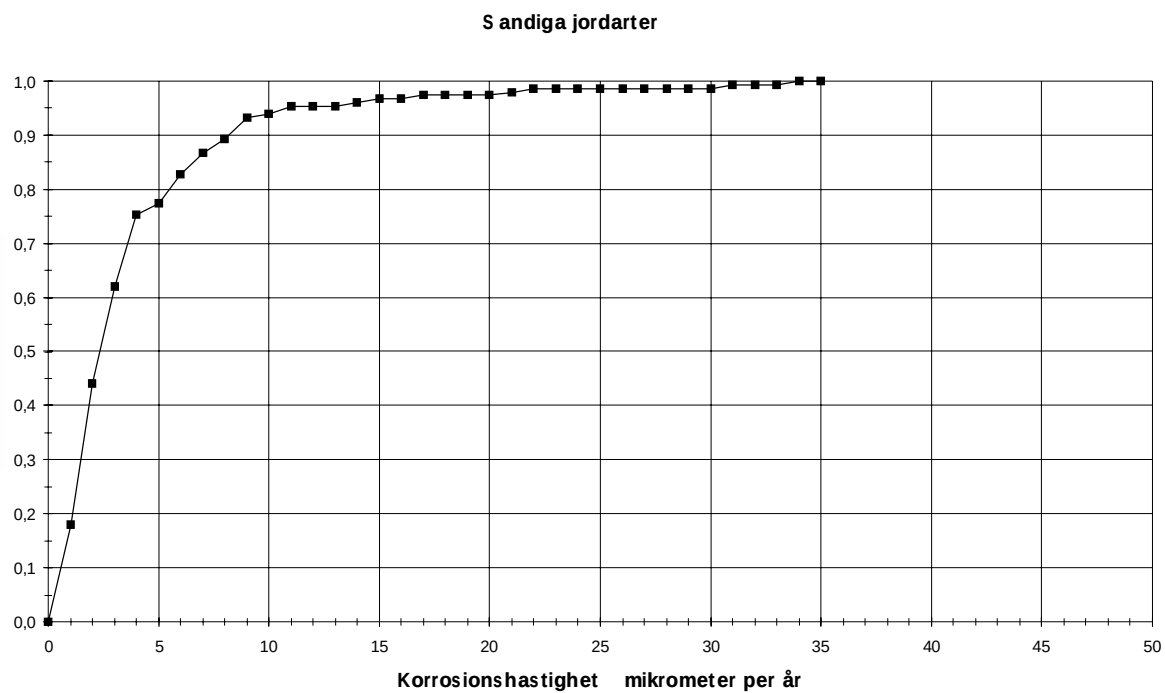
Figur 4.3.1a Täthetsfunktion för alla observationer.
Density function for all observations.



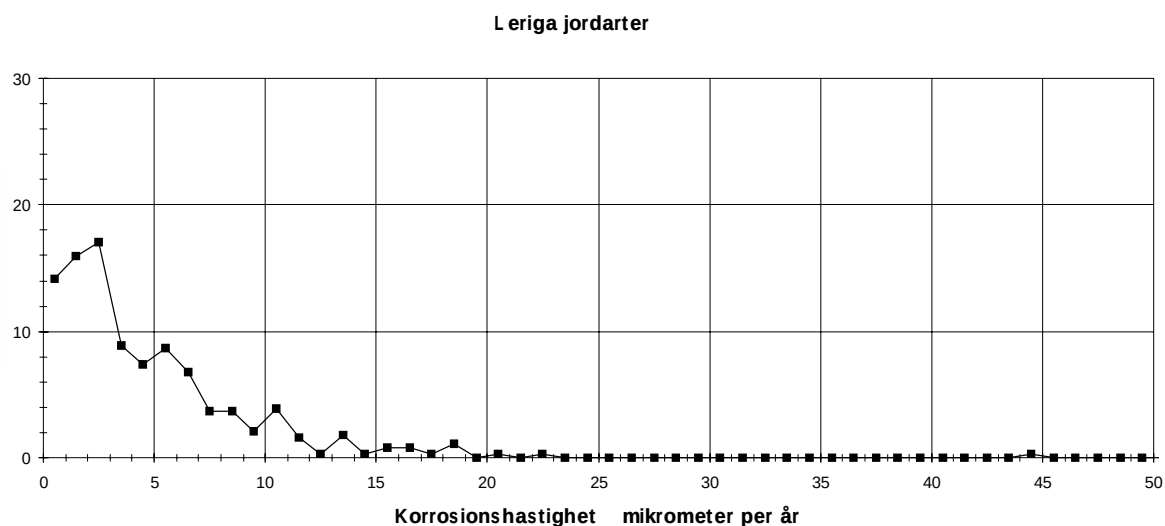
Figur 4.3.1b Fördelningsfunktion för alla observationer.
Distribution function for all observations.



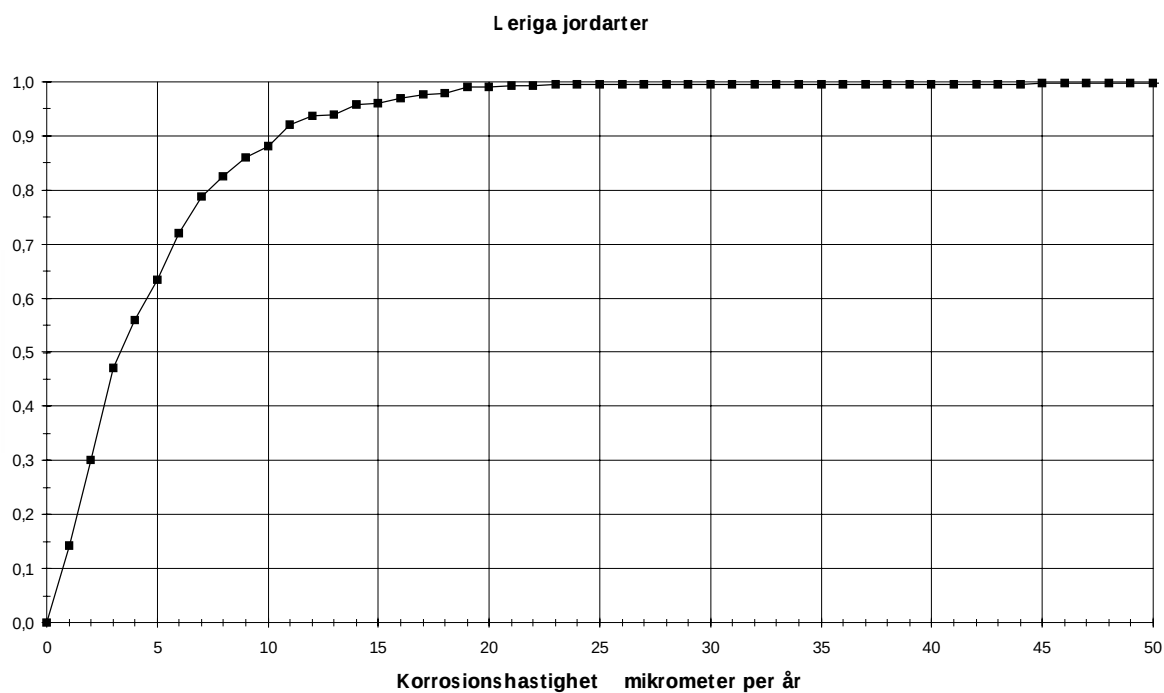
Figur 4.3.2a Täthetsfunktion för typjord 1, de sandiga jordarterna.
Density function for type soil 1, sandy soils.



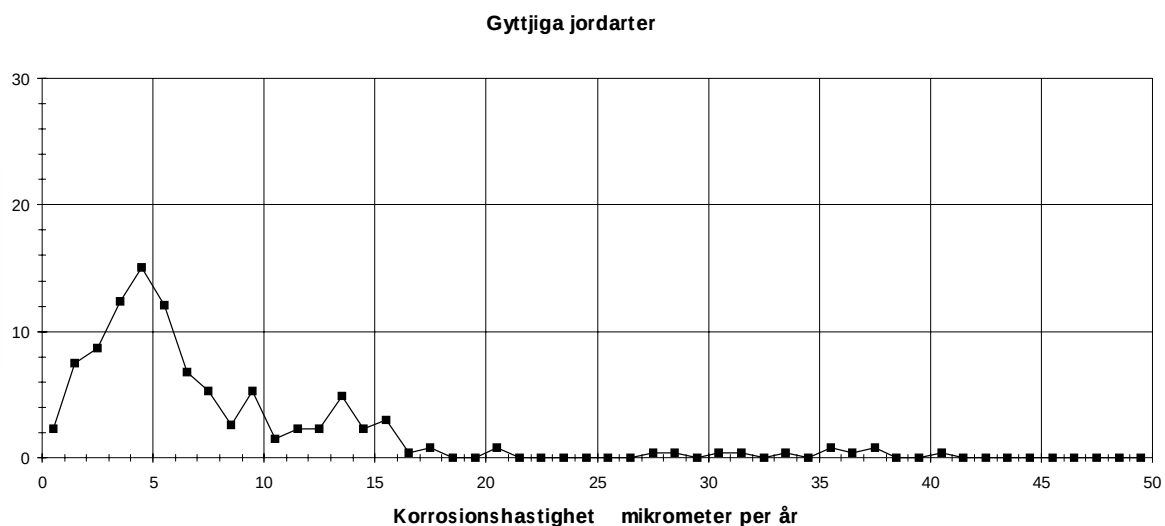
Figur 4.3.2b Fördelningsfunktion för typjord 1, de sandiga jordarterna.
Distribution function for type soil 1, sandy soils.



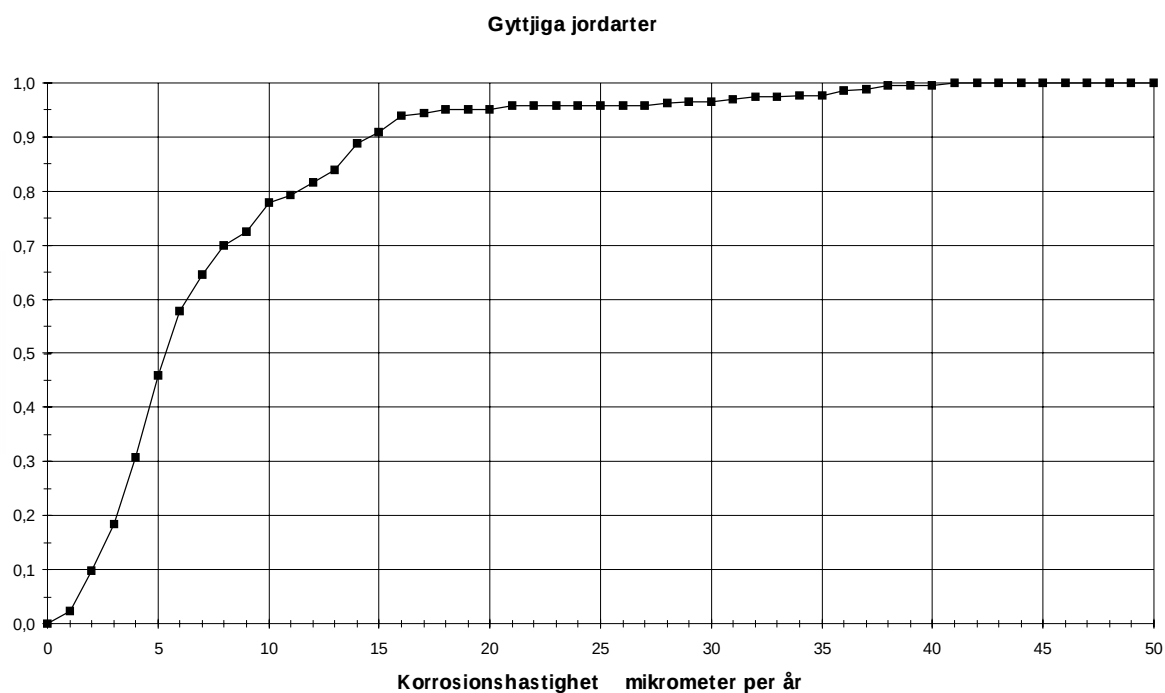
Figur 4.3.3a Täthetsfunktion för typjord 2, de leriga jordarterna.
Density function for type soil 2, clayey soils.



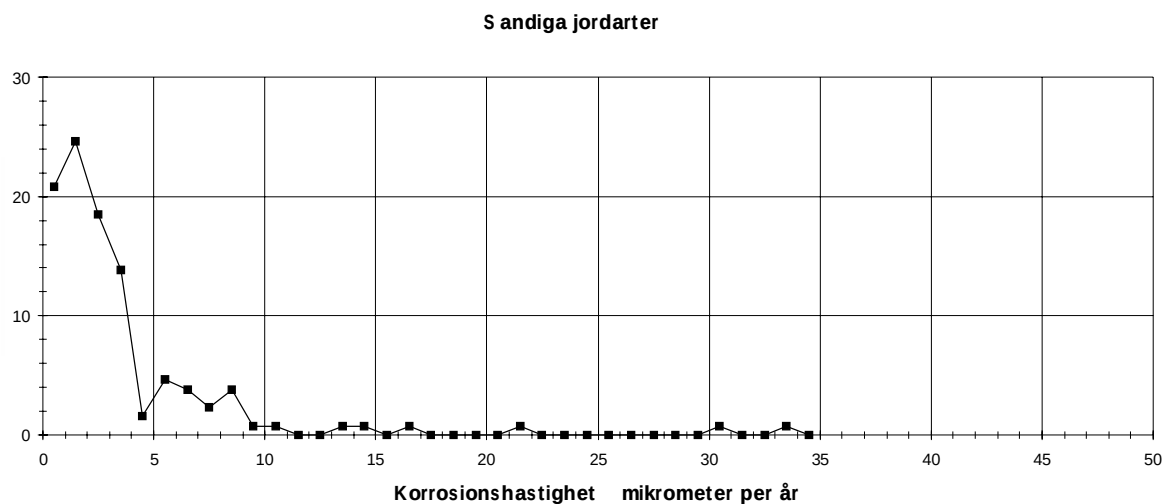
Figur 4.3.3b Fördelningsfunktion för typjord 2, de leriga jordarterna.
Distribution function for type soil 2, clayey soils.



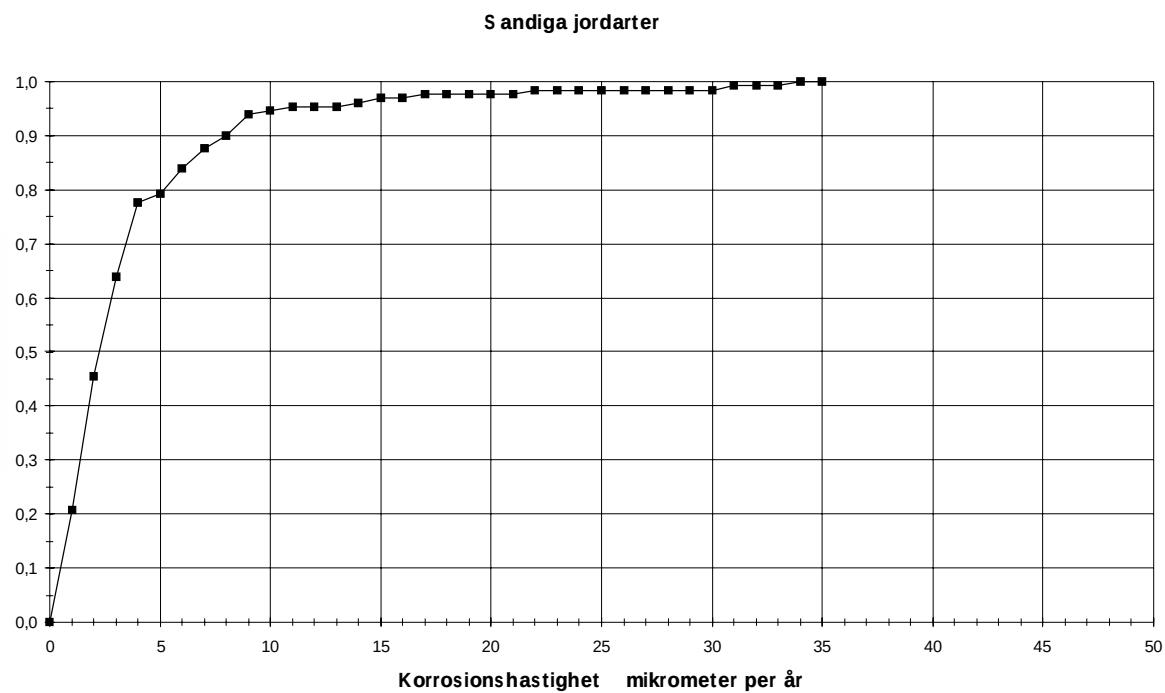
Figur 4.3.4a Täthetsfunktion för typjord 3, de gyttjiga jordarterna.
Density function for type soil 3, organic soils.



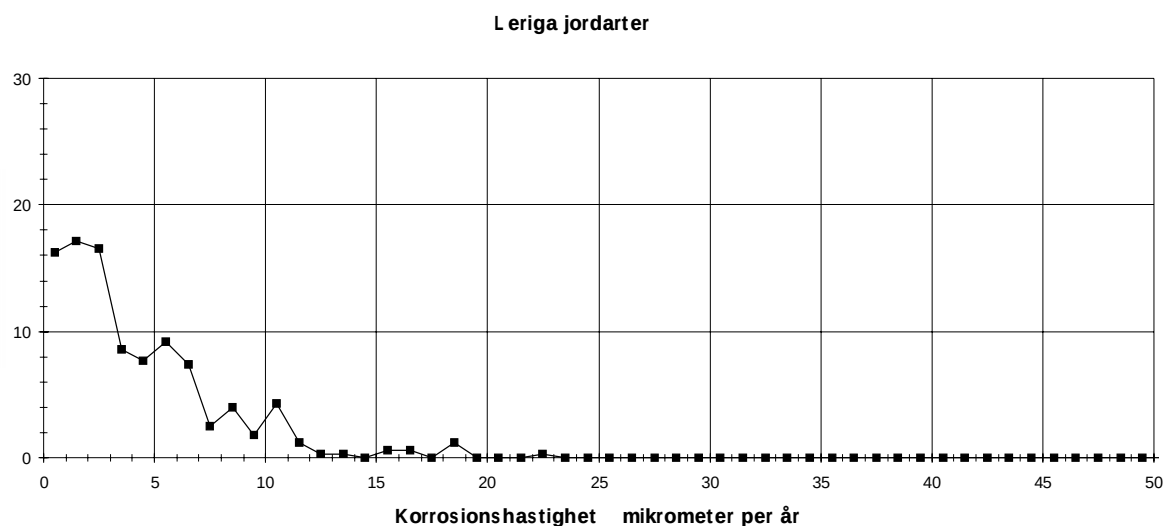
Figur 4.3.4b Fördelningsfunktion för typjord 3, de gyttjiga jordarterna.
Distribution function for type soil 3, organic soils.



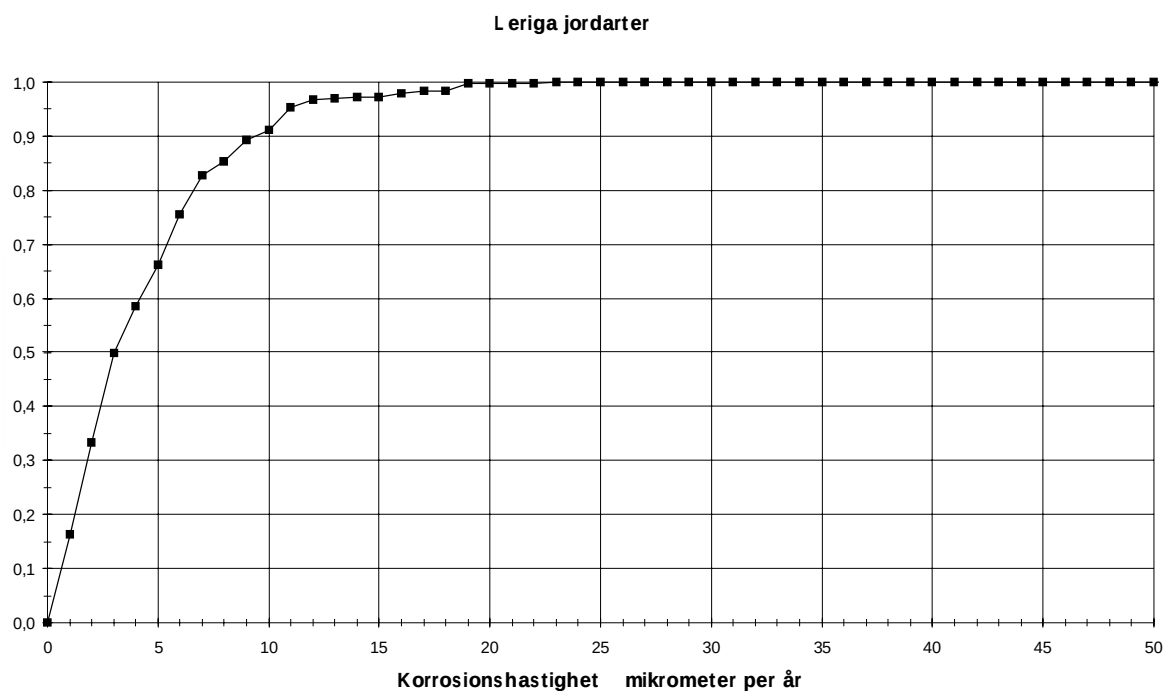
Figur 4.3.5a Täthetsfunktion för typjord 1, de sandiga jordarterna. Korta exponeringstider borttagna.
Density function for type soil 1, sandy soils. Short observationtimes excluded.



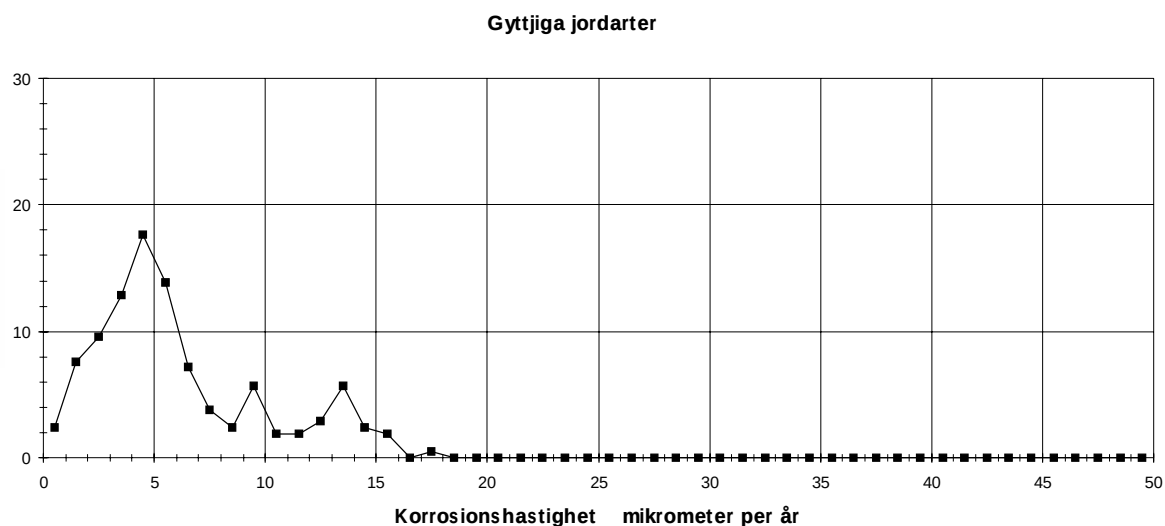
Figur 4.3.5b Fördelningsfunktion för typjord 1, de sandiga jordarterna. Korta exponeringstider borttagna.
Distribution function for type soil 1, sandy soils. Short observationtimes excluded.



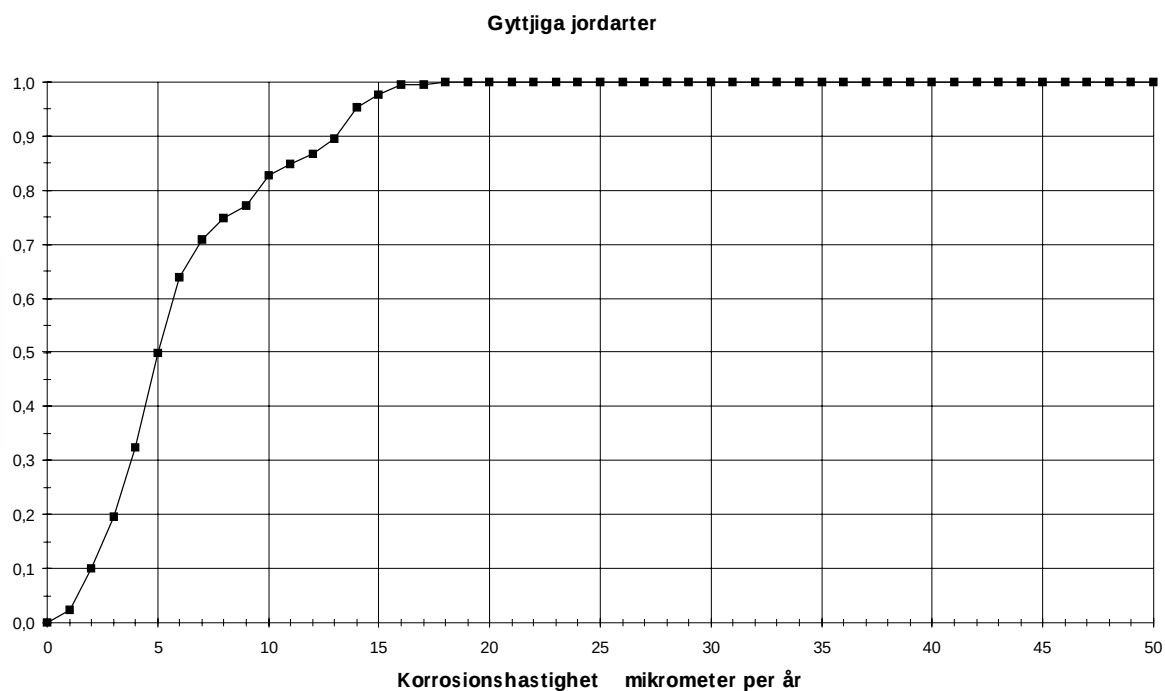
Figur 4.3.6a Täthetsfunktion för typjord 2, de leriga jordarterna. Korta exponeringstider borttagna.
Density function for type soil 2, clayey soils. Short observationtimes excluded.



Figur 4.3.6b Fördelningsfunktion för typjord 2, de leriga jordarterna. Korta exponeringstider borttagna.
Distribution function for type soil 2, clayey soils. Short observationtimes excluded.



Figur 4.3.7a Täthetsfunktion för typjord 3, de gyttjiga jordarterna. Korta exponeringstider borttagna.
Density function for type soil 3, organic soils. Short observationtimes excluded.



Figur 4.3.7b Fördelningsfunktion för typjord 3, de gyttjiga jordarterna. Korta exponeringstider borttagna.
Distribution function for type soil 3, organic soils. Short observationtimes excluded.

Tabell 4.3.1 Statistiska parametrar för korrosionshastighet per provplats.

Provningsplats	Urval av delstänger	Antal observationer	Statistiska parametrar för korrosionshastighet, µm/år							
			Minsta värde	Nedre kvartil	Median-värde	Övre kvartil	95 % fraktilen	Största värde	Medel-värde	Standard-avvikelse
Norrköping, Centralförvaltningen	Alla Exp tid ≥ 10 år	66 51	0,19 0,19	1,52 1,33	3,04 2,55	5,26 5,07	8,84 7,69	10,42 10,42	3,63 3,31	2,63 2,46
Norrköping, Centralstationen	Alla Exp tid ≥ 10 år	74 74	0,38 0,38	2,67 2,67	4,26 4,26	5,72 5,72	10,70 10,70	12,74 12,74	4,78 4,78	2,87 2,87
Guntorp	Alla Exp tid ≥ 10 år	69 56	0,21 0,21	1,96 1,85	2,99 2,79	5,35 4,74	9,00 8,51	16,94 16,94	3,97 3,71	2,99 3,02
Boden	Alla Exp tid ≥ 10 år	24 8	7,69 9,23	14,36 12,08	18,72 14,23	33,78 14,84	37,42 15,68	40,00 15,77	22,97 13,29	10,93 2,48
Kramfors	Alla Exp tid ≥ 10 år	55 33	2,73 2,73	5,18 4,53	7,12 5,76	10,22 9,24	15,29 11,62	20,09 13,06	8,20 6,65	4,02 2,86
Resteröd	Alla Exp tid ≥ 10 år	17 17	0,00 0,00	0,48 0,48	0,89 0,89	1,45 1,45	1,80 1,80	1,86 1,86	0,93 0,93	0,61 0,61
Ugglum	Alla Exp tid ≥ 10 år	53 0	0,00	0,00	1,23	2,45	6,22	22,88	2,02	3,44
Stockholm, Centralstationen Serie 1	Alla Exp tid ≥ 10 år	96 61	0,00 0,00	1,84 1,47	2,81 2,81	5,56 3,79	9,36 6,76	13,90 10,42	3,72 2,98	2,90 2,20
Stockholm, Centralstationen Serie 2	Alla Exp tid ≥ 10 år	66 34	0,13 0,13	2,82 1,93	6,90 6,02	10,69 10,63	18,06 18,43	20,58 18,62	7,76 7,31	5,50 5,86
Stockholm, Centralstationen Serie 1 + 2	Alla Exp tid ≥ 10 år	162 95	0,00 0,00	2,11 1,74	3,77 2,82	7,44 5,62	15,63 15,76	20,58 18,62	5,37 4,60	4,53 4,42
Solna, kv Fräsaren	Alla Exp tid ≥ 10 år	44 26	0,55 1,37	2,24 3,96	5,05 5,96	8,53 9,66	20,91 28,52	33,21 33,21	6,96 8,78	7,03 8,33
Malmö	Alla Exp tid ≥ 10 år	20 12	1,58 1,58	3,04 2,12	4,92 3,30	7,82 5,39	16,41 6,32	18,12 6,32	6,40 3,70	4,89 1,85
Trensum	Alla Exp tid ≥ 10 år	50 30	1,29 3,12	3,51 4,34	4,92 5,22	6,03 6,12	7,99 7,74	9,03 8,72	4,85 5,39	1,84 1,35
Kalmar	Alla Exp tid ≥ 10 år	20 12	1,29 2,71	3,15 4,64	4,63 6,01	6,19 7,07	8,25 8,33	8,44 8,44	4,84 5,87	2,13 1,91
Vinslöv	Alla Exp tid ≥ 10 år	25 15	0,00 2,31	2,31 2,72	3,01 3,51	4,51 4,51	5,82 6,00	6,41 6,41	3,23 3,73	1,61 1,24
Jönköping	Alla Exp tid ≥ 10 år	40 32	0,00 0,00	1,46 1,56	2,77 3,23	3,71 3,86	4,48 4,52	5,33 5,33	2,51 2,70	1,59 1,57
Umeå	Alla Exp tid ≥ 10 år	31 0	4,08	5,21	7,79	9,83	13,55	15,21	8,08	3,22
Borlänge	Alla Exp tid ≥ 10 år	46 31	0,36 0,36	1,22 1,08	1,44 1,44	1,96 1,52	3,49 2,77	7,63 3,58	1,74 1,45	1,13 0,66

Tabell 4.3.2 Statistiska parametrar för korrosionshastighet för typjordar.

Provningsplats Typjordar	Urval av delstänger	Antal observa- tioner	Statistiska parametrar för korrosionshastighet, $\mu\text{m}/\text{år}$							
			Minsta värde	Nedre kvartil	Median- värde	Övre kvartil	95 % fraktilen	Största värde	Medel- värde	Standard- avvikelse
Sandiga jordar	Alla Exp tid ≥ 10 år	146	0,00	1,34	2,32	4,35	10,34	33,21	3,78	4,91
		95	0,00	1,26	2,12	3,53	11,31	33,21	3,61	5,45
Leriga jordar	Alla Exp tid ≥ 10 år	377	0,00	1,64	3,27	6,17	12,13	22,88	4,53	3,96
		234	0,00	1,75	3,46	5,69	10,71	18,62	4,31	3,47
Jordar med organiskt material	Alla Exp tid ≥ 10 år	219	0,00	3,20	4,69	7,20	21,26	40,00	7,00	7,32
		153	0,21	3,18	4,41	6,03	12,12	15,77	5,12	3,12
Samtliga jordar	Alla Exp tid ≥ 10 år	765	0,00	1,81	3,58	6,17	14,96	40,00	5,09	5,45
		492	0,00	1,81	3,58	5,65	11,27	33,21	4,46	3,92

Valda statistiska parametrar är

- minsta värde
- nedre fraktil
- medianvärde
- övre fraktil
- 95 %-fraktilen
- största värde
- medelvärde
- standardavvikelse

Det är en relativt liten skillnad mellan hastigheten för medelkorrosionen för de olika typjordarna, se **Figur 4.3.2a – 4.4.7b**. Det finns dock en trend att typjord 3 (de organiska jordarna) uppvisar större korrosion än typjordarna 1 (de sandiga/grusiga jordarna) och 2 (de leriga/siltiga jordarna) och att typjord 1 uppvisar lite mindre korrosion än typjord 2. Detta är helt i linje med tabellen i APPENDIX 1 i Pålkommisionens Rapport 93, Camitz (1994).

4.4 SAMBAND MELLAN KORROSIONENS STORLEK OCH STÅLETS LÄGE I FÖRHÅLLANDE TILL GRUNDVATTENNIVÅN

I förslagen till korrosionsmån anges i Rapport 93 att korrosionen skulle vara klart större i den luftade zonen och att zonen kring den övre grundvattenytan skulle vara speciellt utsatt. För att få lite underlag för en sådan slutsats har materialet redovisats för fallet över respektive under grundvattenytan.

Oron för en större korrosion i den luftade zonen beror på resultat från mätningar på nedgrävda stål i mark. Om huvudorsaken är omgrävningen och därmed sammanhängande luftning eller större möjligheter till transport av syre till stålet är omtvistat. I fyllning är det också större sannolikhet för att luftningsceller kan finnas.

I detta fall är av naturliga skäl huvuddelen av resultaten från delstänger under grundvattenytan. Detta på grund av att grundvattenytan i de flesta lokaler är belägen i markytan eller strax under markytan samt att stängerna är relativt långa. Databasen innehåller 83 observationer ovan grundvattenytan, 20 st observationer i grundvattenytan och 718 observationer under grundvattenytan. Dessutom är grundvattenytans läge inte entydigt bestämd eftersom den varierar under året samt att underlaget vad gäller observationer inte är stort i försökslokalerna.

Resultatet redovisas i **figur 4.4.1** som hastighet hos medelkorrosionen mot vertikal läge i förhållande till grundvattenytan med indelning i typjordarna. I **figur 4.4.2** redovisas resultatet på sam-

ma sätt men i en annan skala för hastigheten för medelkorrosionen.

I **figur 4.4.3** redovisas motsvarande men då endast för typjorden nr 1, dvs sand, grus och sandiga/grusiga moräner.

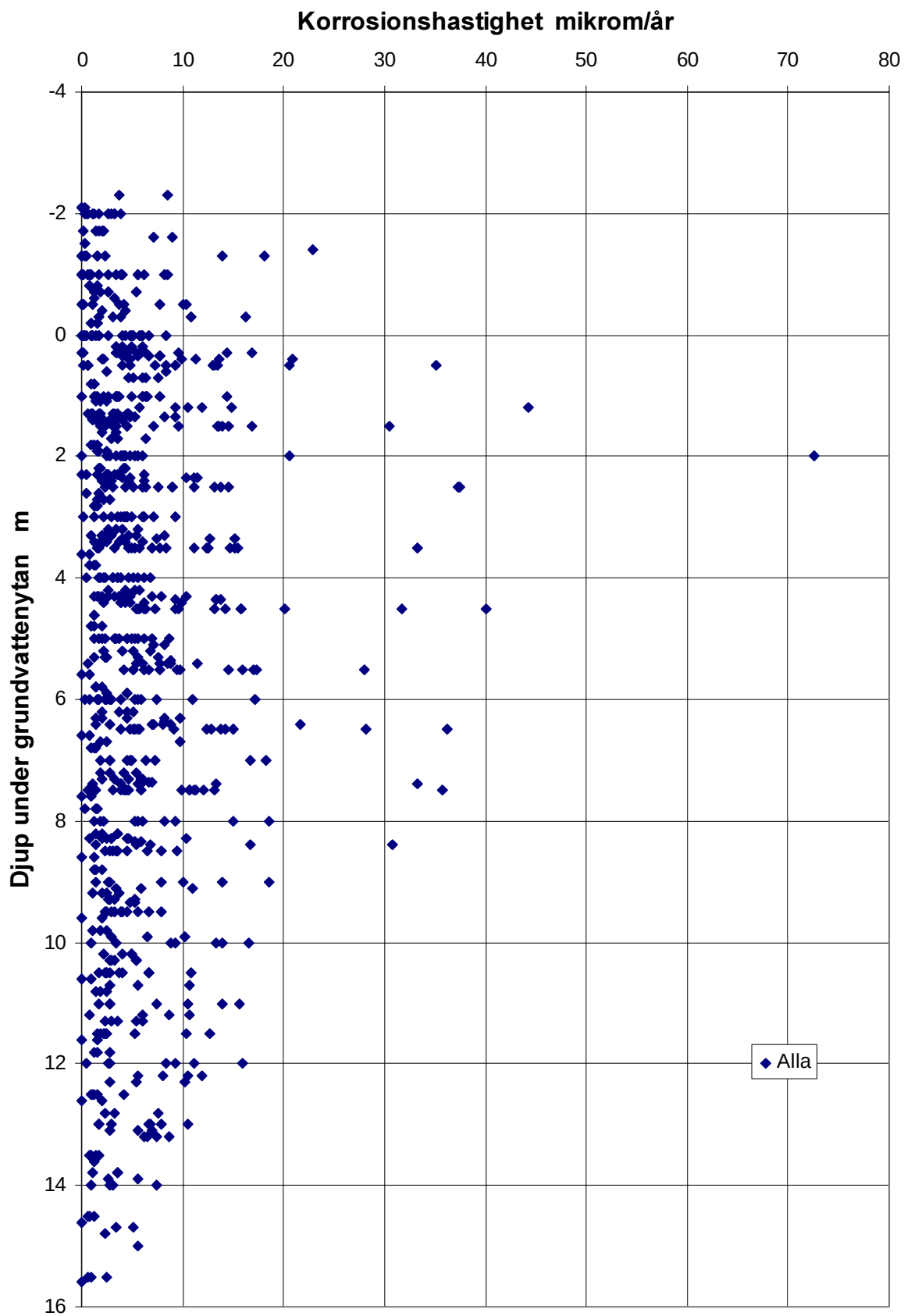
I **figurerna 4.4.4 och 4.4.5** redovisas resultatet för typjorden nr 2, dvs lera, silt och leriga/siltiga moräner.

I **figurerna 4.4.6** redovisas resultatet för typjorden nr 3, dvs gyttjig lera/silt, gyttja, torv, dy och sulfidlera.

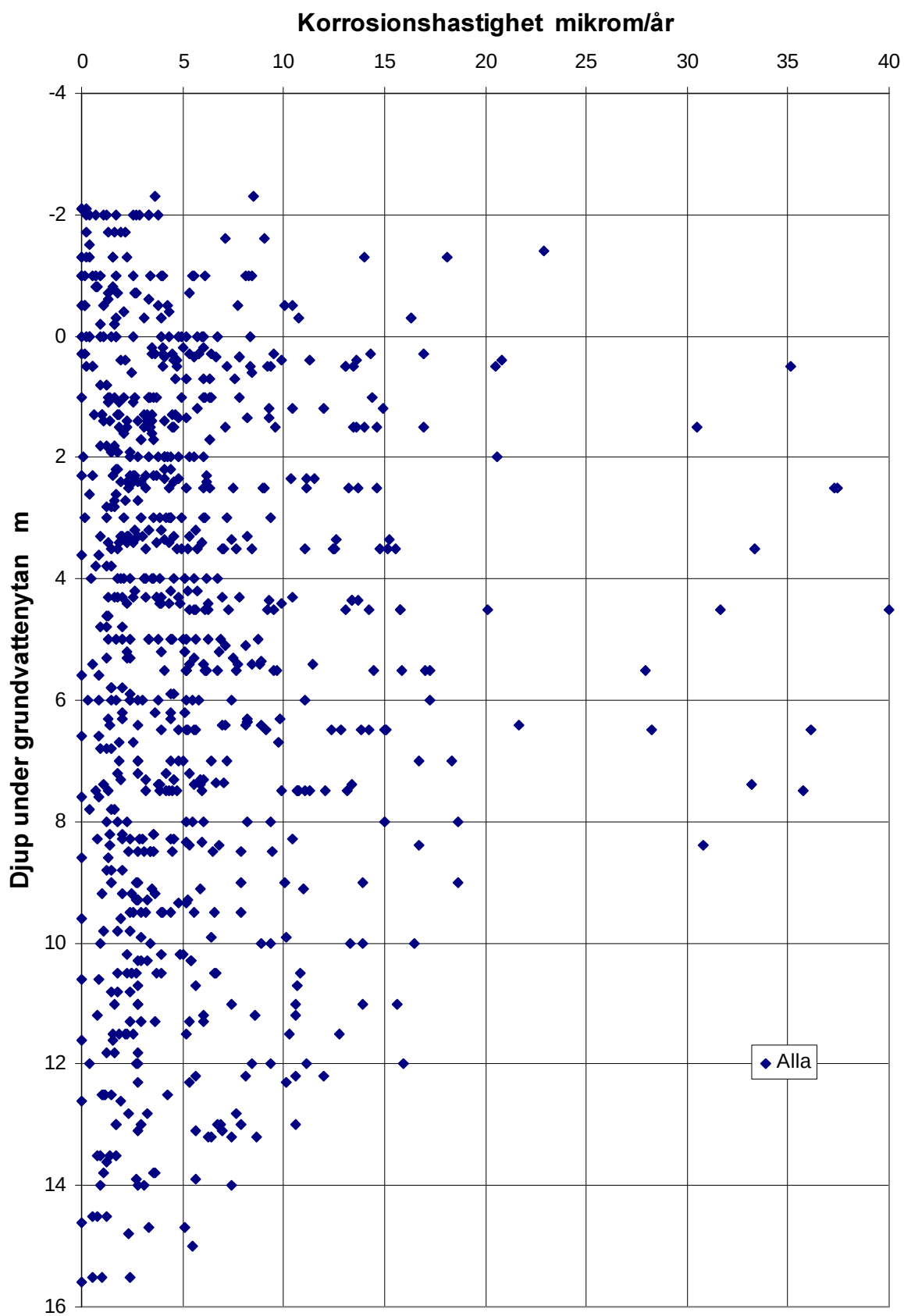
I **figur 4.4.7** redovisas resultatet för typjordarna 6 (dvs sprängsten, grovt grus, grov kross etc i vatten) och 7 (dvs slagg och kolaska).

Kolumnen 16 ovan kom till för att kunna jämföra största värdet ovan grundvattenytan med största värdet under grundvattenytan. I **figur 4.4.8 och 4.4.9** redovisas denna jämförelse i form av frekvensdiagram för hela materialet. I **figur 4.4.10 och 4.4.11** redovisas jämförelsen men i detta fall genom att de korta exponeringstiderna inte är medtagna.

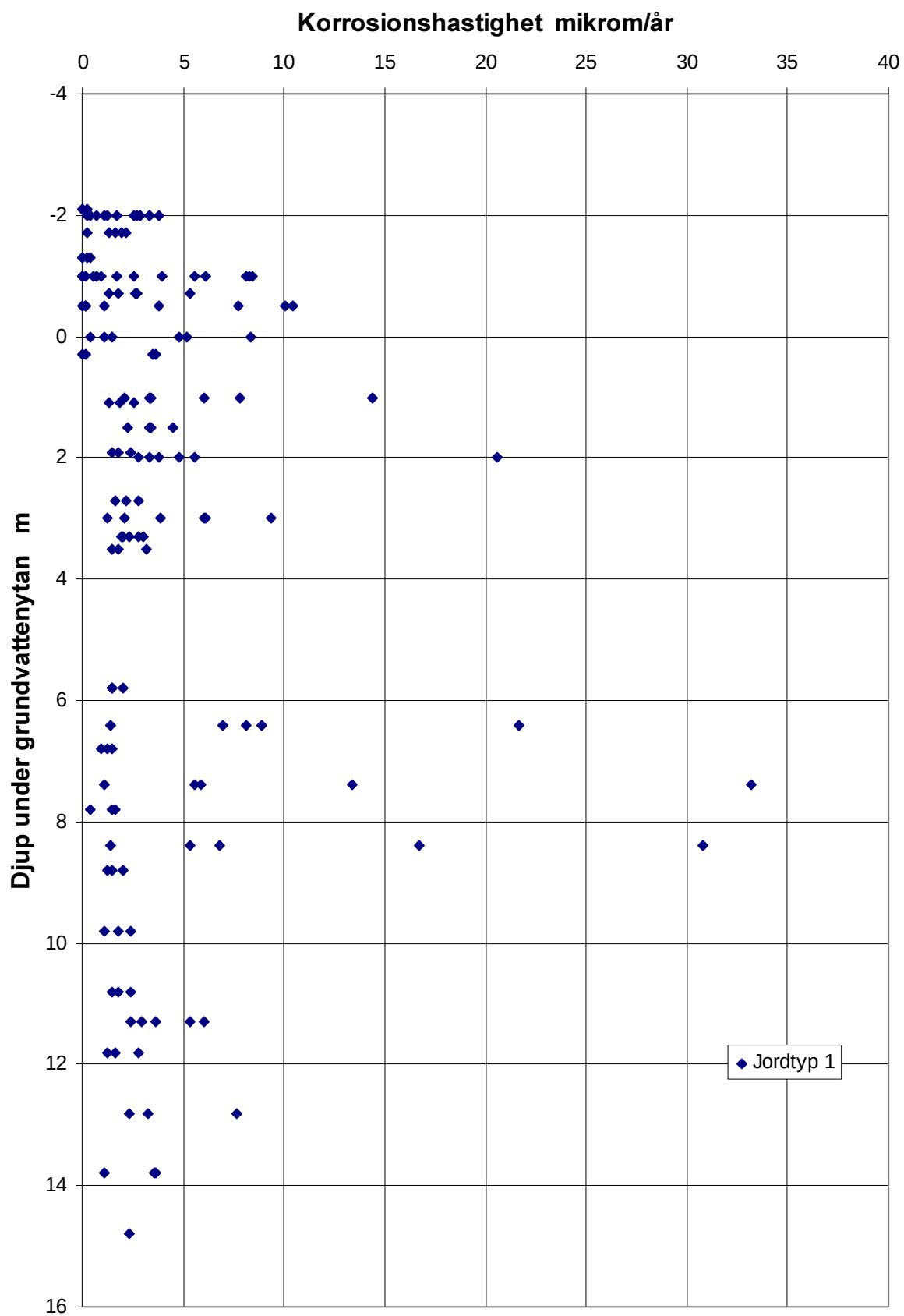
Av **figurerna 4.4.8 – 4.4.11** är det inte möjligt att se någon skillnad mellan maximal korrosion ovan respektive under grundvattenytan.



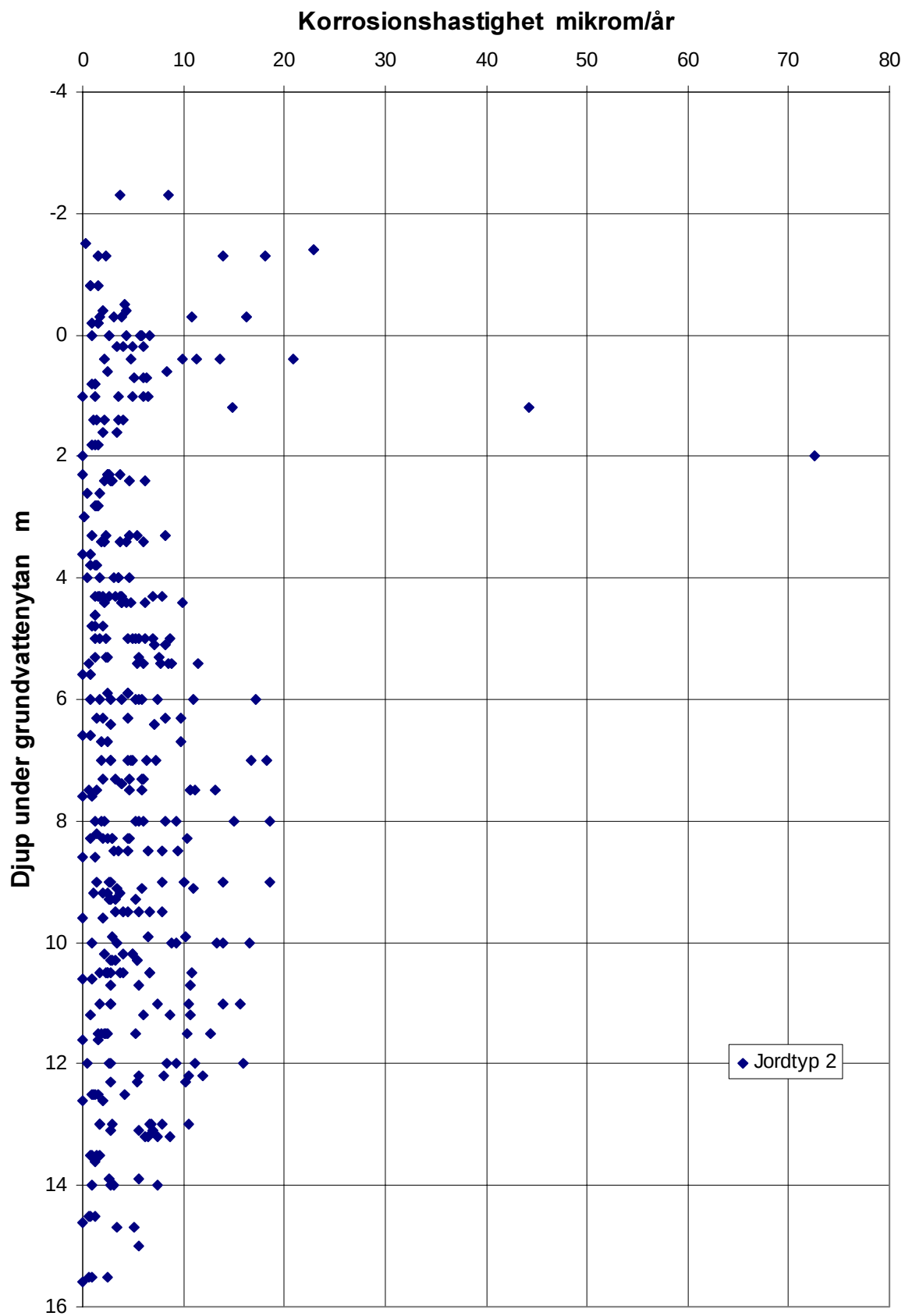
Figur 4.4.1 Korrosionshastighet mot djup under grundvattenytan för alla jordarter.
Rate of corrosion versus depth below ground water level for all observations.



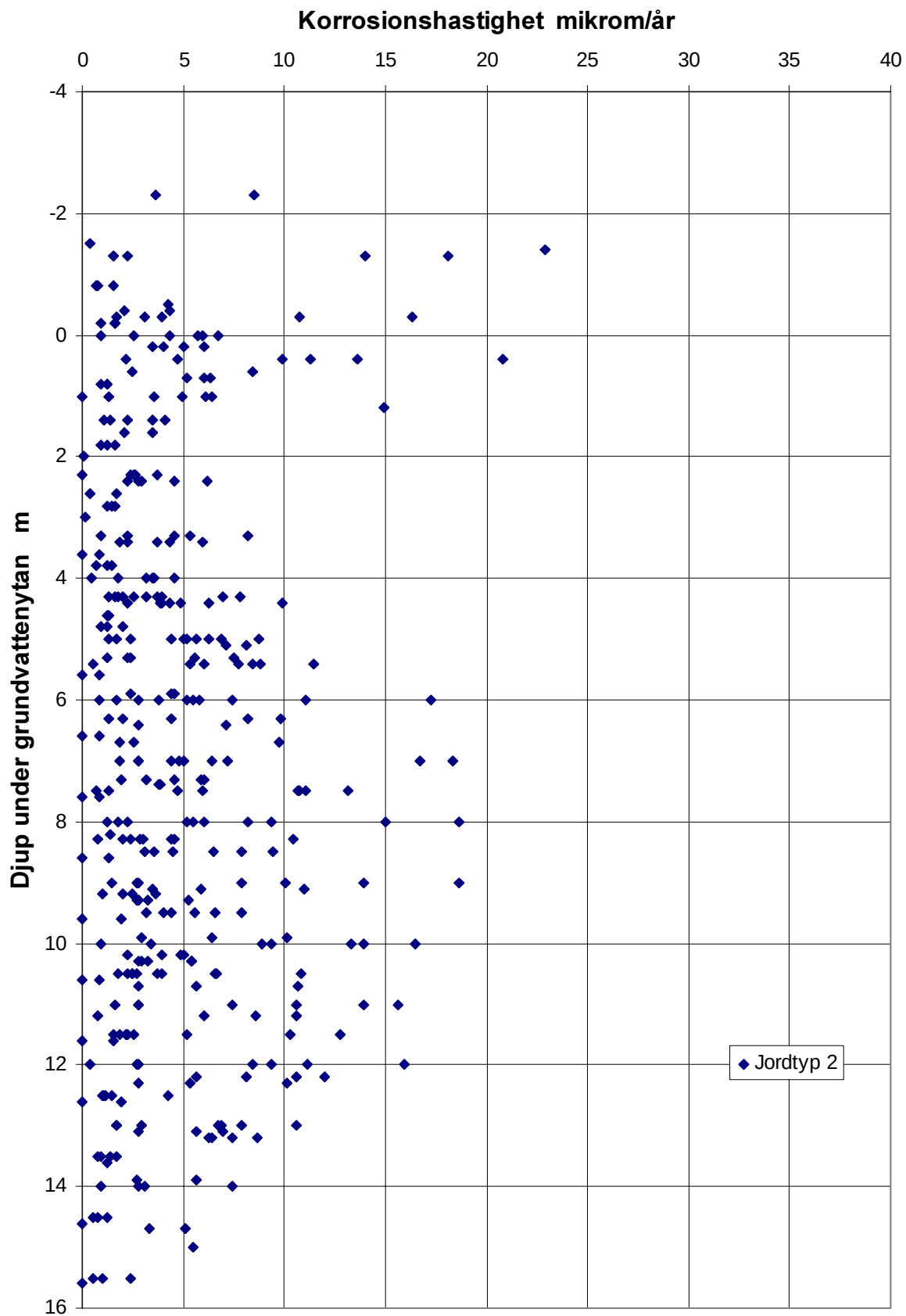
Figur 4.4.2 Korrosionshastighet mot djup under grundvattenytan för alla jordarter.
Rate of corrosion versus depth below ground water level for all observations.



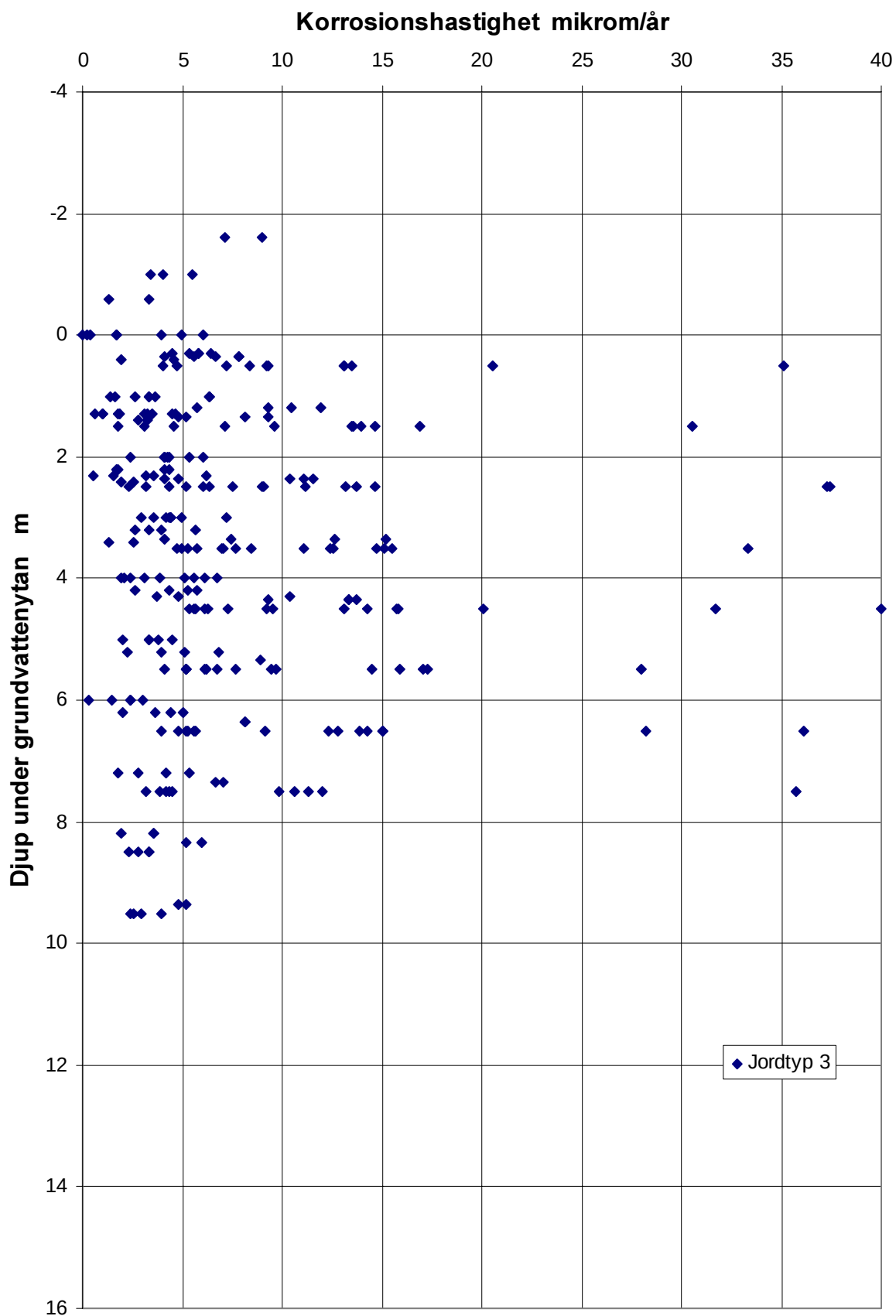
Figur 4.4.3 Korrosionshastighet mot djup under grundvattenytan för typjord 1, sandiga jordarter.
Rate of corrosion versus depth below ground water level for type soil 1, sandy soils.



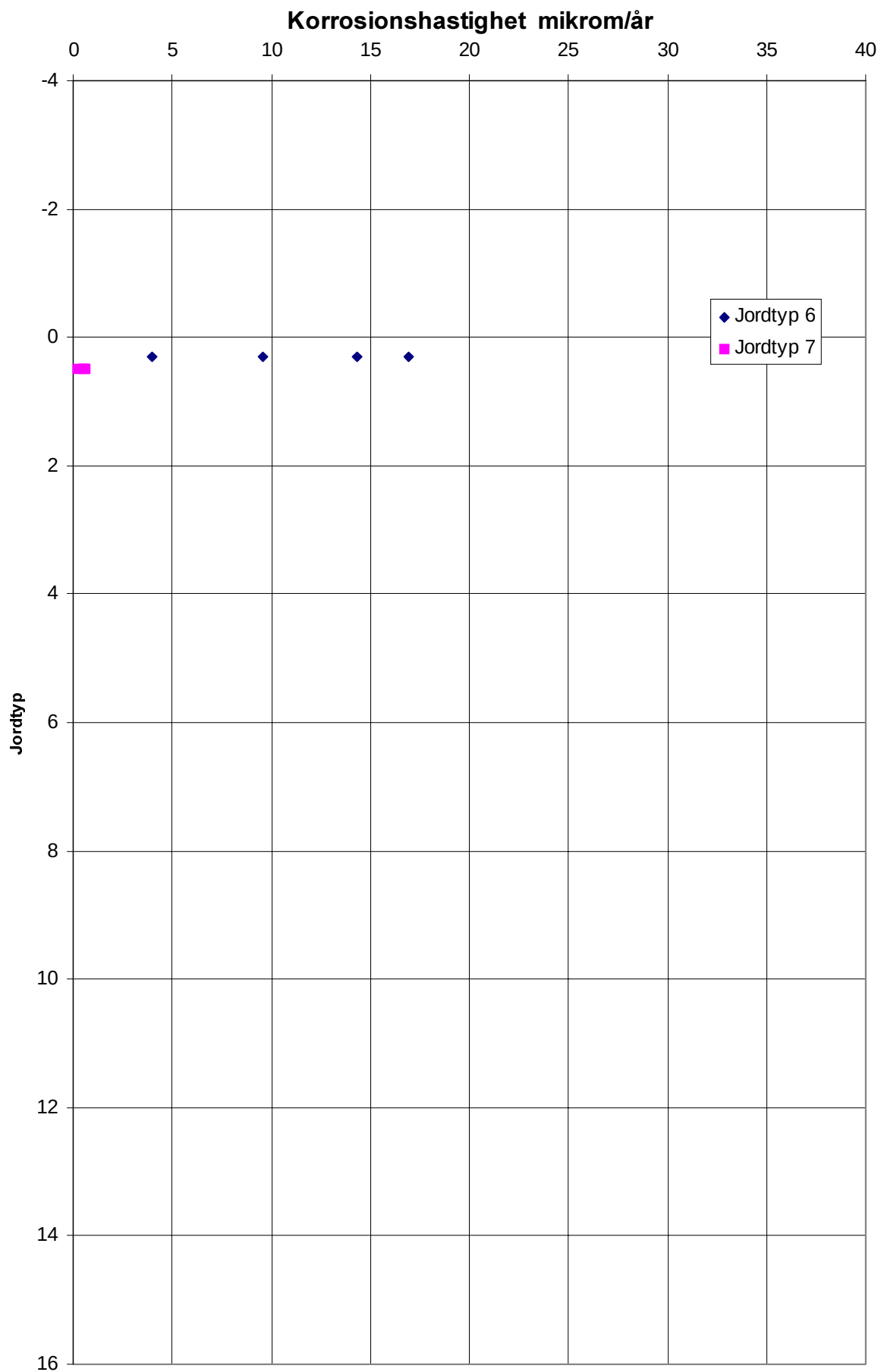
Figur 4.4.4 Korrosionshastighet mot djup under grundvattenytan för typjord 2, leriga jordarter.
Rate of corrosion versus depth below ground water level for type soil 2, clayey soils.



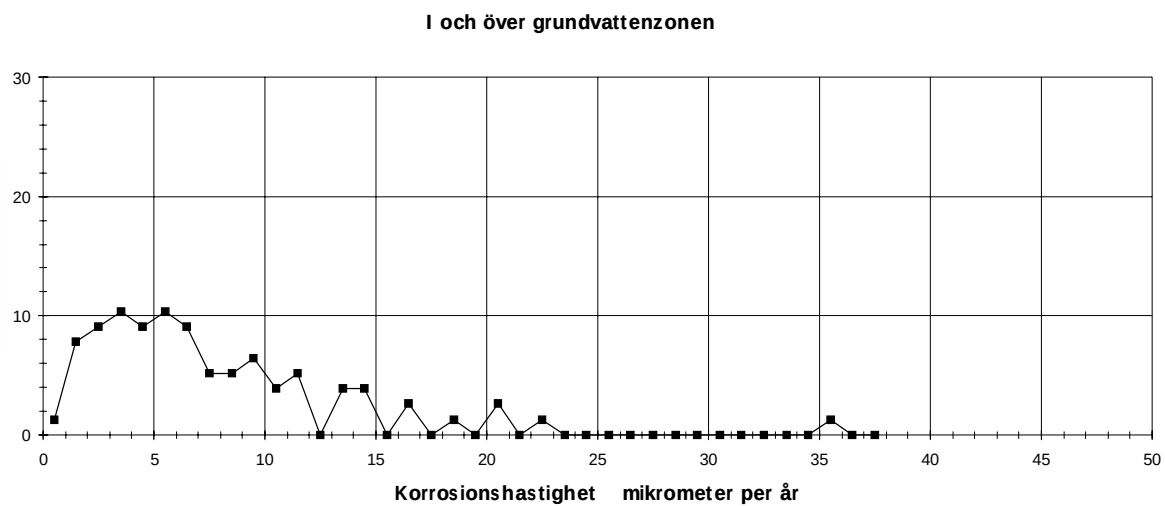
Figur 4.4.5 Korrosionshastighet mot djup under grundvattenytan för typjord 2, leriga jordarter.
Rate of corrosion versus depth below ground water level for type soil 2, clayey soils.



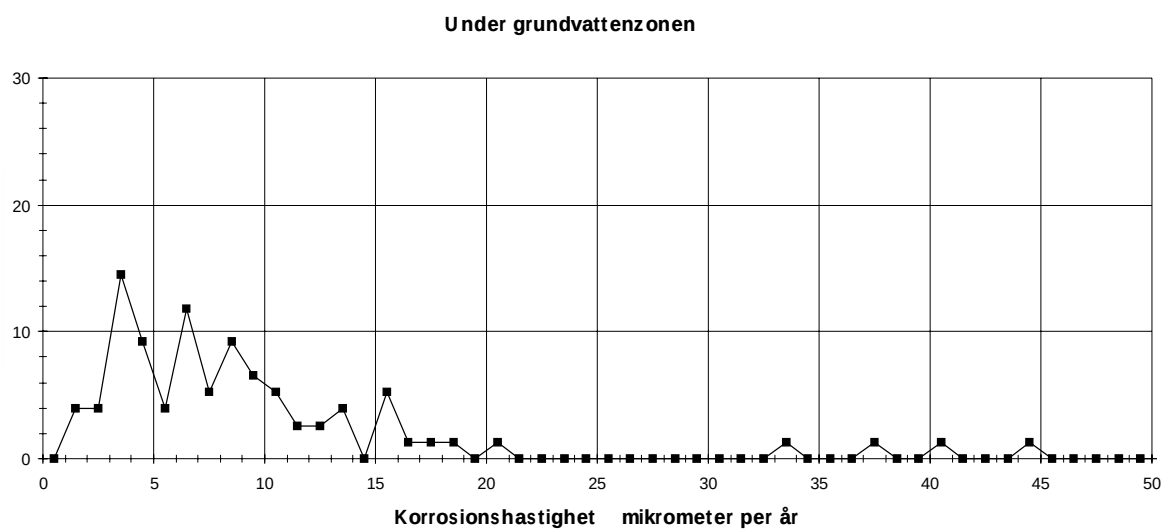
Figur 4.4.6 Korrosionshastighet mot djup under grundvattenytan för typjord 3, gyttjiga jordarter.
Rate of corrosion versus depth below ground water table for type soil 3, organic soils.



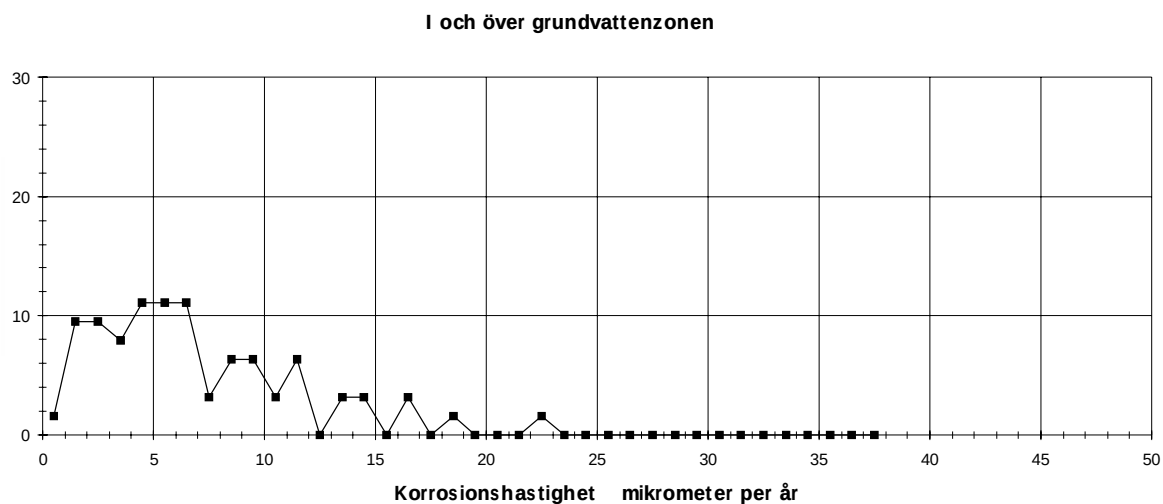
Figur 4.4.7 Korrosionshastighet mot djup under grundvattenytan för typjord 6, sprängsten, grovt grus, grov kross etc i vatten, och 7, slagg och kolaska.
Rate of corrosion versus depth below ground water level for type soil 6 and 7.



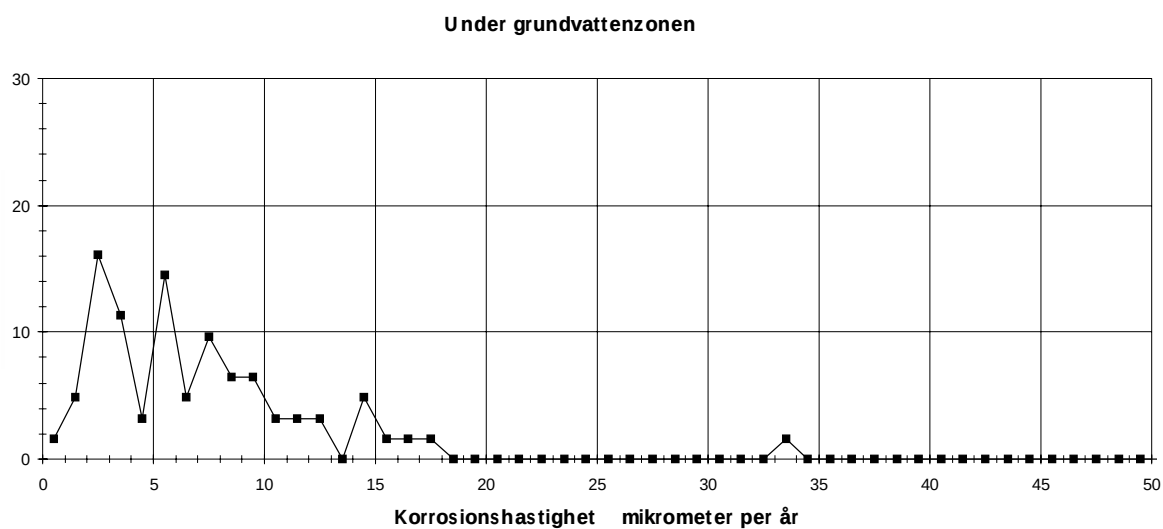
Figur 4.4.8 Största korrosionshastigheten över och i grundvattenytan.
Maximum rate of corrosion above and at ground water level.



Figur 4.4.9 Största korrosionshastigheten under grundvattenytan.
Maximum rate of corrosion below ground water level.



Figur 4.4.10 Största korrosionshastigheten över och i grundvattenytan. Korta exponeringstider borttagna.
Maximum rate of corrosion above and at ground water level. Short observation times excluded.



Figur 4.4.11 Största korrosionshastigheten under grundvattenytan. Korta exponeringstider borttagna.
Maximum rate of corrosion below ground water level. Short observation times excluded.

4.5 SAMBAND MELLAN KORROSIONENS STORLEK OCH JORDENS EGENSKAPER

4.5.1 Allmänt

Vid bedömningen av risk för korrosion och därmed storleken på korrosionen har man ur teoretisk synpunkt hävdat att jordens resistivitet och pH-värde skulle kunna ha en avgörande inverkan. Resultaten från genomförda mätningar har inte med säkerhet verifierat detta utan det finns andra bakomliggande faktorer som behövs för att förklara storleken på korrosionen eller vad som är en mer aggressiv miljö.

I Rapport 93, Camitz (1994), anges flera inverkan- de faktorer men övergripande är det jordens möjlighet att transportera syre i tillräcklig mängd som avgör om korrosionen kommer till stånd. Sandegren (1988) föreslår t.ex. att man skall försöka fastställa halten mobiliserbart syre.

Man har här en naturlig miljö för jorden som störs vid installationen av stålet. För korrosionens storlek kommer ju förutom den ursprungliga miljön även den miljö som skapas under tidens lopp att ha avgörande betydelse. Om förutsättningarna för korrosionsceller (anod och katod) finns men det är stora svårigheter med att transportera syret så påverkar detta processen. I idealfallet endast som en fördröjning av processen och därmed även tänkbart att erforderlig miljö aldrig skapas. I lera kan man därför förvänta sig liten korrosion mot djupet om vi inte har skikt som är genomsläppliga.

Då korrosionsprocessen i sig påverkar miljön bör detta också innebära att man skall förvänta sig att korrosionshastigheten minskar med tiden på grund av påverkan på korrosionsmiljön på grund av korrosionsresterna.

Nedan redovisas för befintligt material samspel mellan uppmätt hastighet på medelkorrosionen och jordens naturliga vattenkvot, jordens resistivitet och pH-värde. Resultatet redovisas för hela materialet utan indelning i typjordar.

Observera att vad gäller jordens egenskaper så finns det inte provningsresultat som gör det möjligt att ansätta representativa jordegenskaper för samtliga delstänger. Av 821 st delstänger (observationer) finns det vattenkvot för 628 st, resistivitet för 435 st och pH-värde för 442 st.

För att ge en inblick i eventuellt samspel mellan jordegenskaperna redovisas i **Figur 4.5.1.1** resistivitet mot naturlig vattenkvot, i **Figur 4.5.1.2** resistivitet mot pH-värde och i **Figur 4.5.1.3** pH-värde mot naturlig vattenkvot. Av denna redovisning framgår att det finns en trend att resistiviteten minskar med ökande vattenkvot.

4.5.2 Jordens naturliga vattenkvot

I **Figur 4.5.2.1** redovisas uppmätt hastighet hos medelkorrosionen mot jordens naturliga vattenkvot. I **Figur 4.5.2.2** finns samma redovisning men i en annan skala för den naturliga vattenkvoten.

Det är inte möjligt att med stöd av resultatet se några trender i hastigheten hos medelkorrosionen utan den tycks vara oberoende av vattenkvoten.

4.5.3 Jordens resistivitet

I **Figur 4.5.3.1** redovisas uppmätt hastighet hos medelkorrosionen mot jordens resistivitet. I **Figur 4.5.3.2** finns samma redovisning men med en annan skala för resistiviteten.

Med stöd av resultatet kan man se en viss trend att korrosionshastigheten minskar med ökande resistivitet. Antalet observationer med en resistivitet större än 50 Ωm är dock litet. För en resistivitet inom området 0–50 Ωm är trenden lite diffus. Det tycks dock finnas en övre gräns som avtar med ökande resistivitet, dock är antalet observationer med högre resistivitet få.

4.5.4 Jordens pH-värde

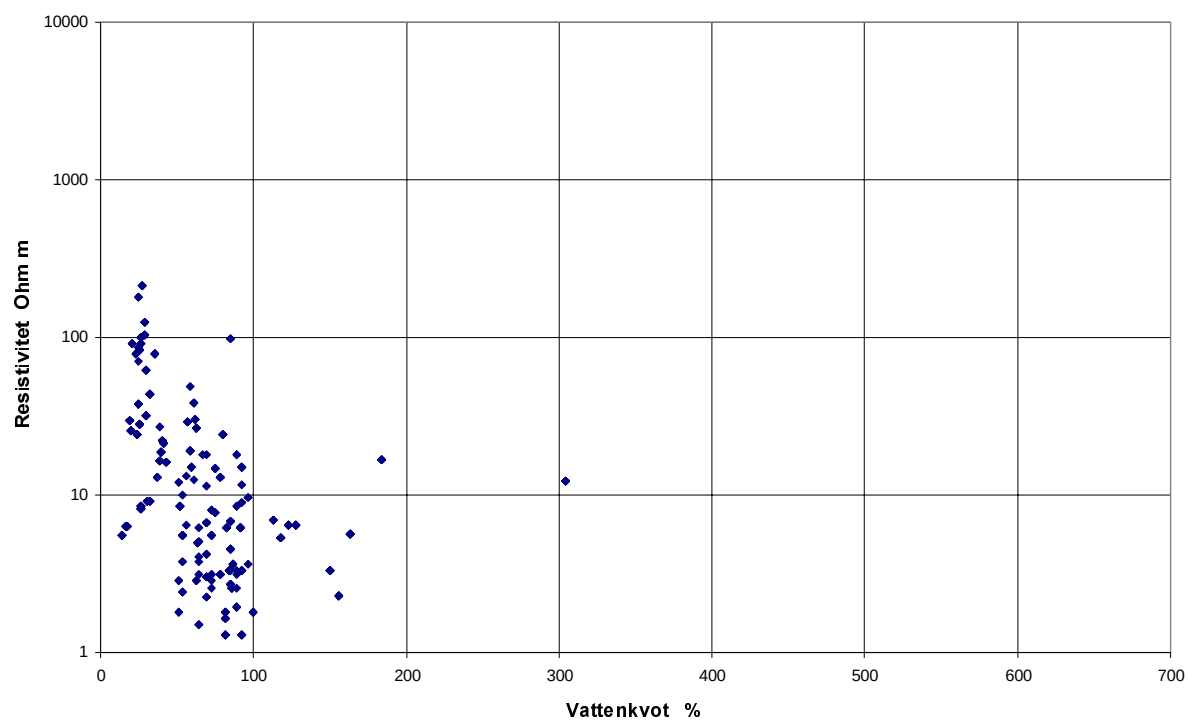
I **Figur 4.5.4.1** redovisas uppmätt hastighet hos medelkorrosionen mot jordens pH-värde.

Med stöd av resultatet är det inte möjligt att dra några slutsatser vad gäller trend om inverkan av jordens pH-värde. Det är en olycklig anhopning av höga korrosionsvärden inom pH-värdet för ”naturligt” vatten, pH = 7.

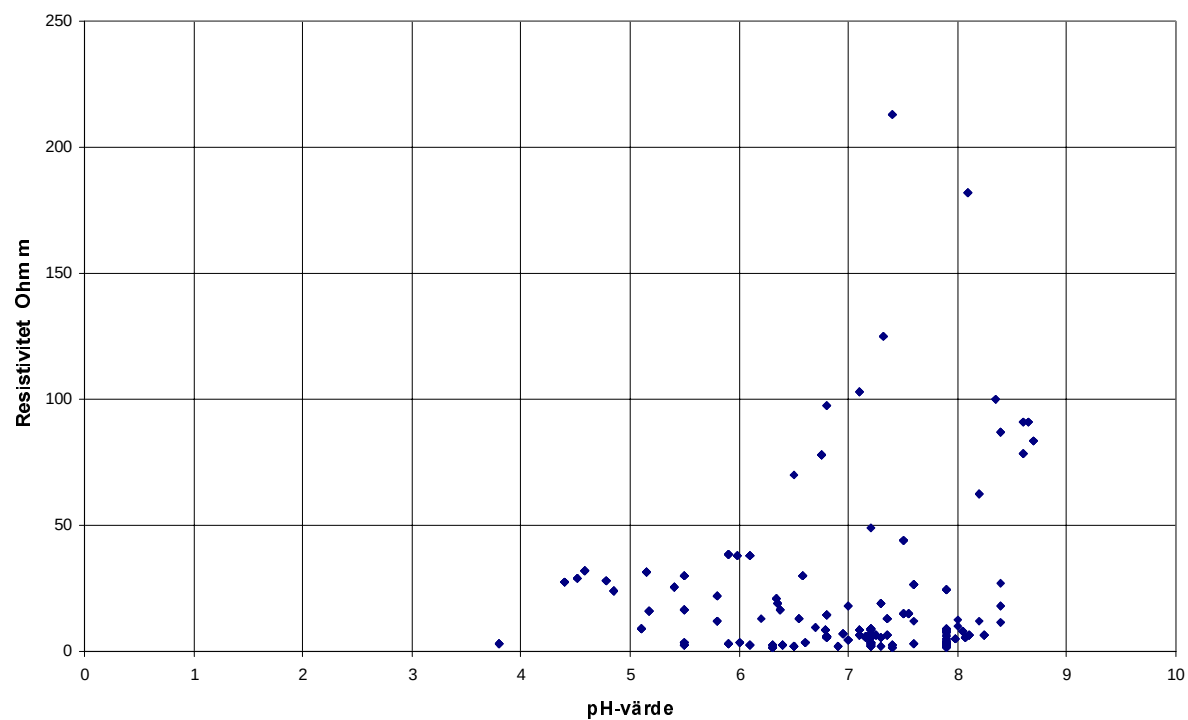
4.6 SAMBAND MELLAN KORROSIONENS STORLEK OCH STÅLETS EXPONERINGSTID

I **Figur 4.6.1** redovisas korrosionens storlek mot stålets exponeringstid och i **Figur 4.6.2** som korrosionshastighet mot stålets exponeringstid.

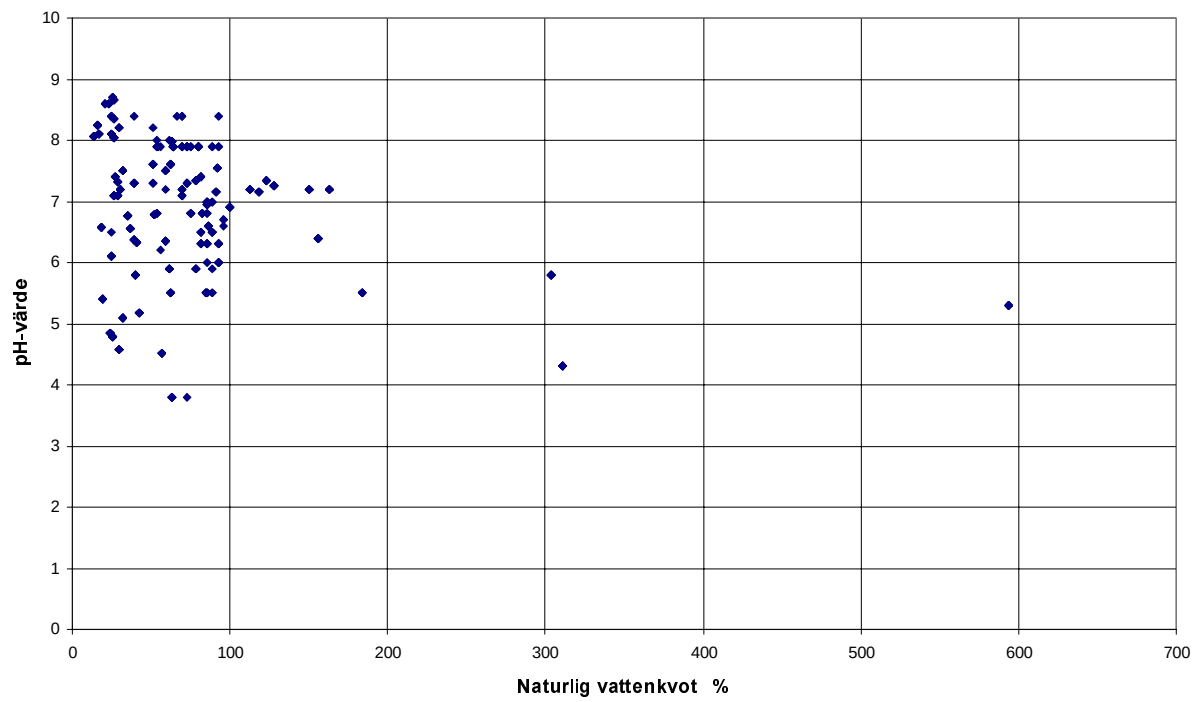
Resultatet ger visst stöd för att korrosionshastigheten avtar med exponeringstiden.



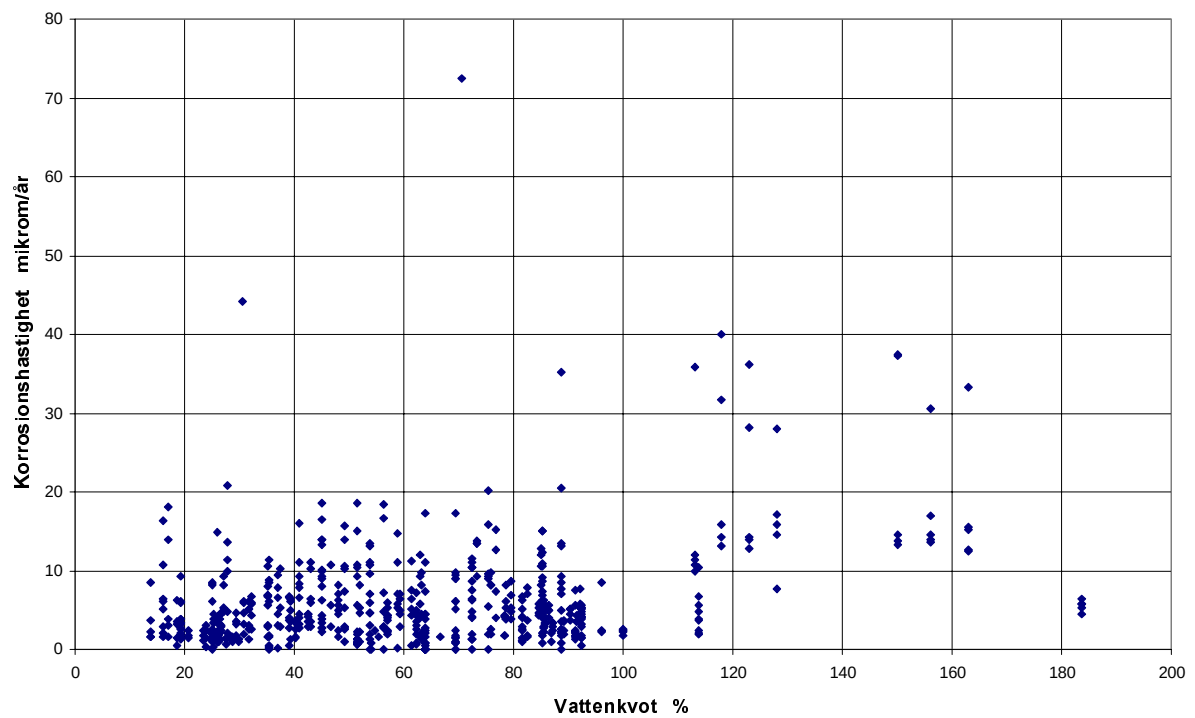
Figur 4.5.1.1 Resistivitet mot naturlig vattenkvot.
Resistivity versus natural water content.



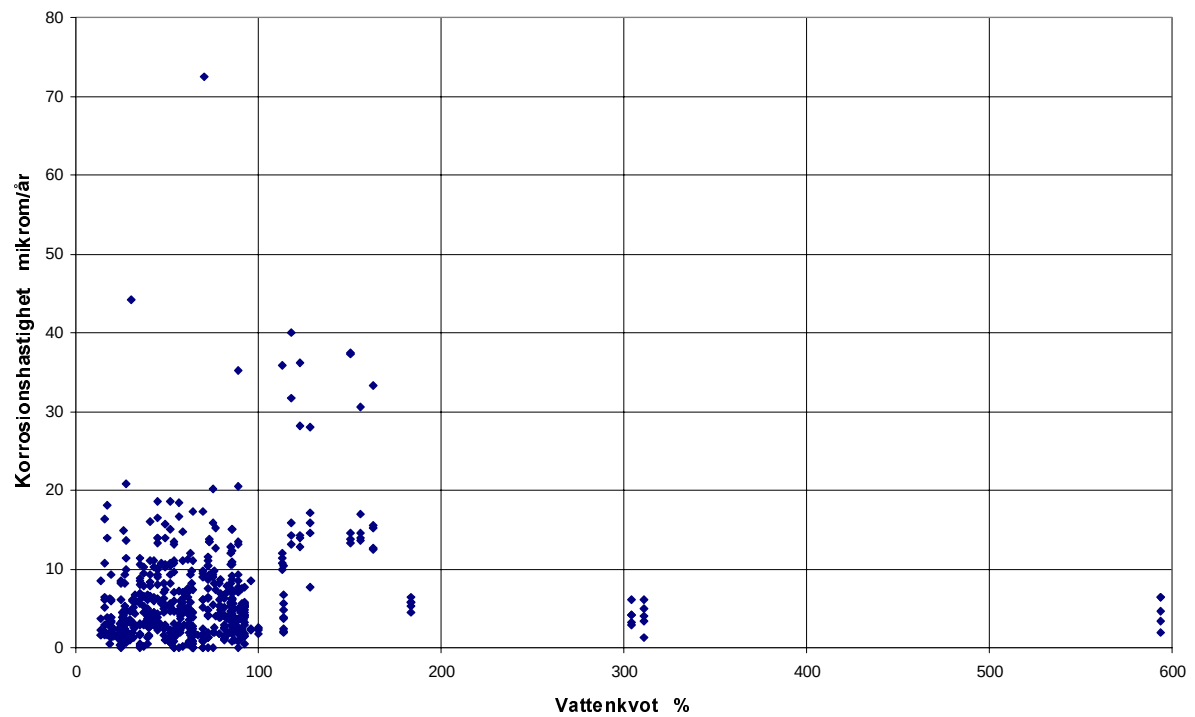
Figur 4.5.1.2 Resistivitet mot pH-värde.
Resistivity versus pH-value.



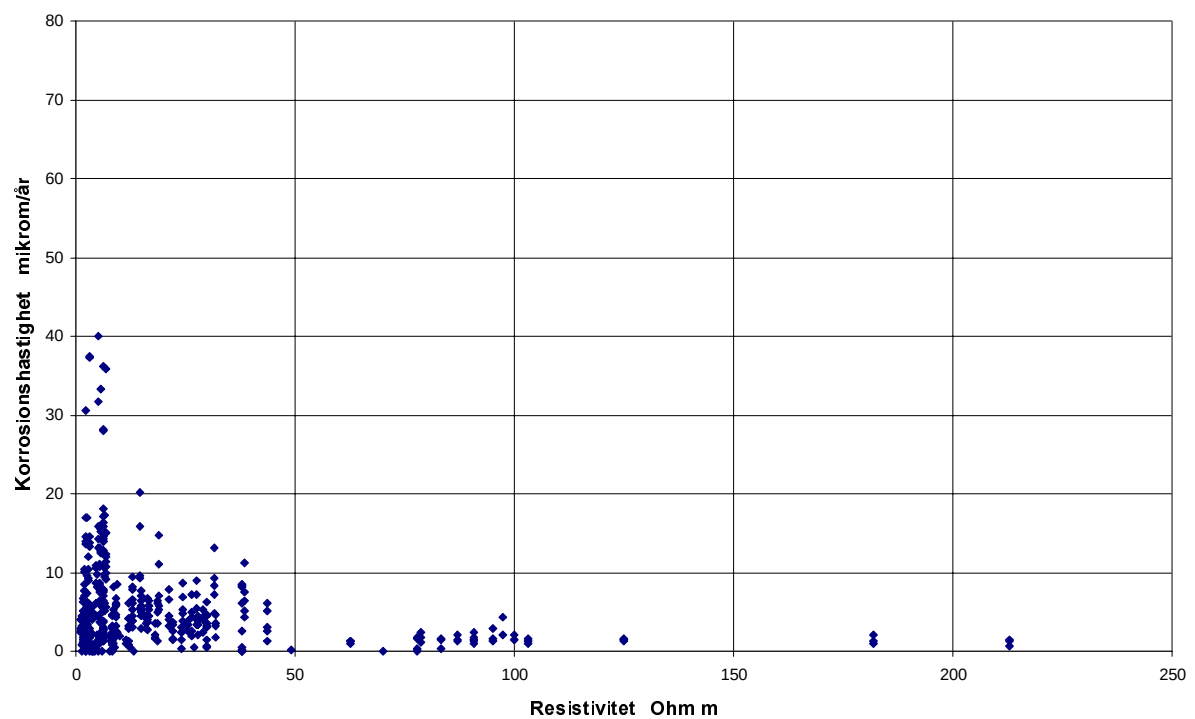
Figur 4.5.1.3 pH-värde mot naturlig vattenkvot.
pH-value versus natural water content.



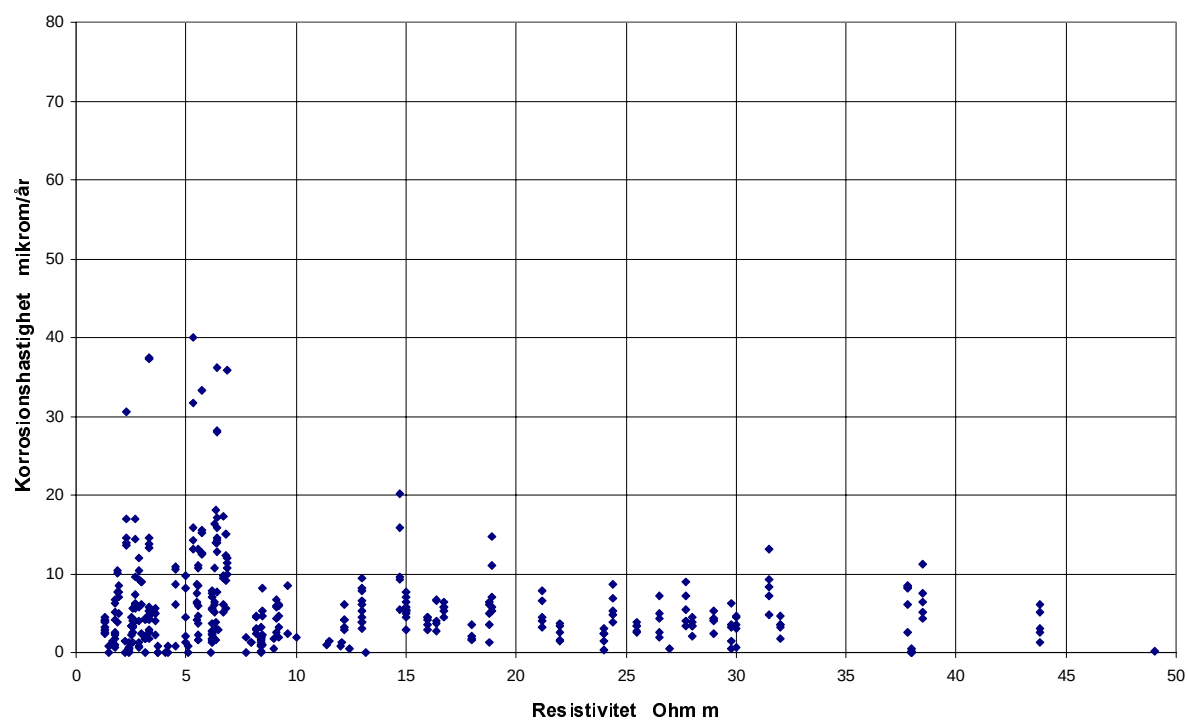
Figur 4.5.2.1 Korrosionshastighet mot jordens naturliga vattenkvot.
Rate of corrosion versus the natural water content of the soil.



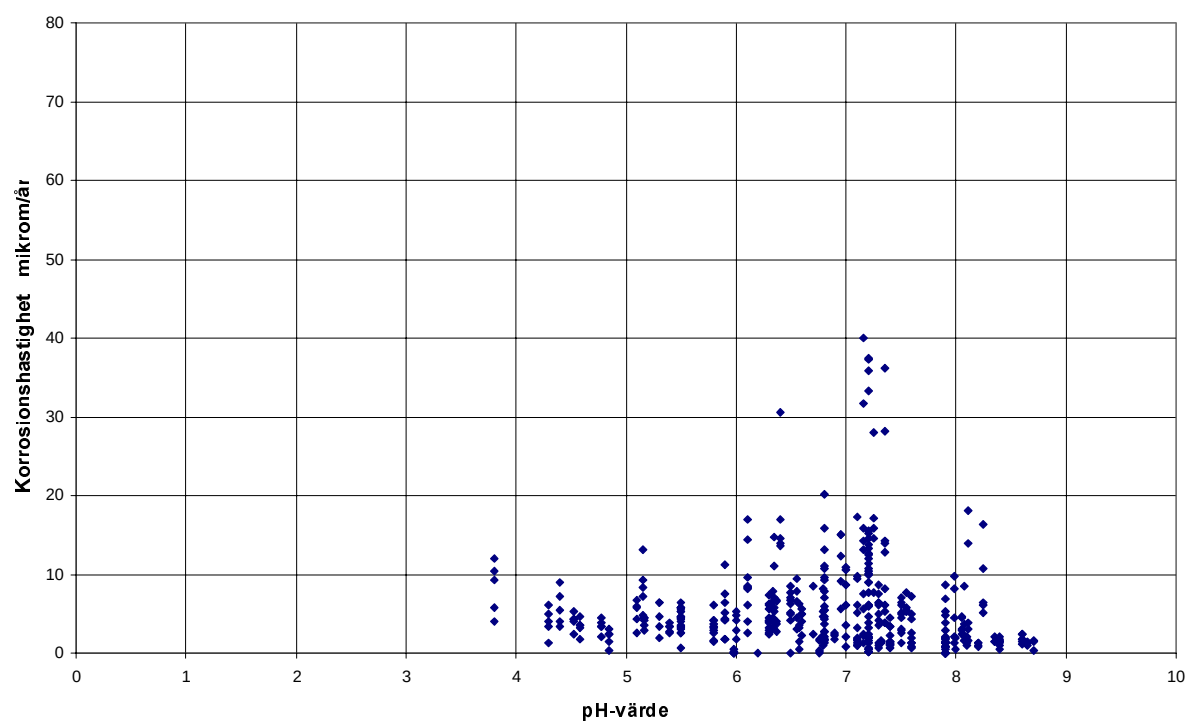
Figur 4.5.2.2 Korrosionshastighet mot jordens naturliga vattenkvot.
Rate of corrosion versus the natural water content of the soil.



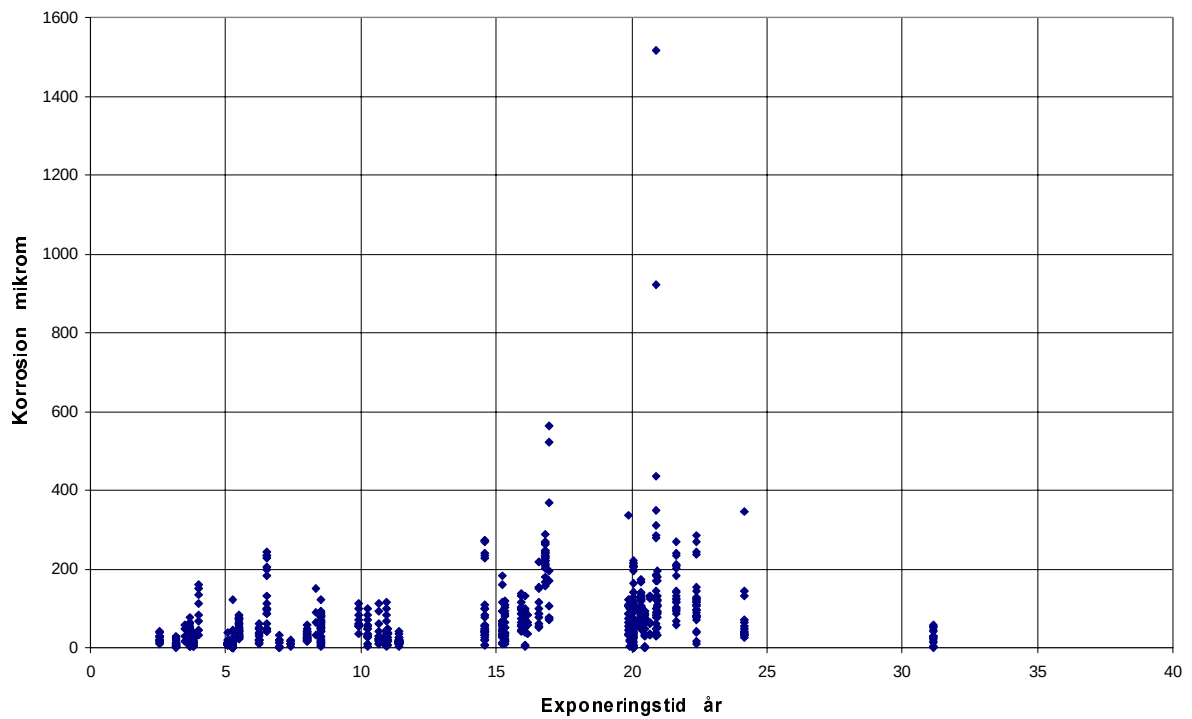
Figur 4.5.3.1 Korrosionshastighet mot jordens resistivitet.
Rate of corrosion versus the resistivity of the soil.



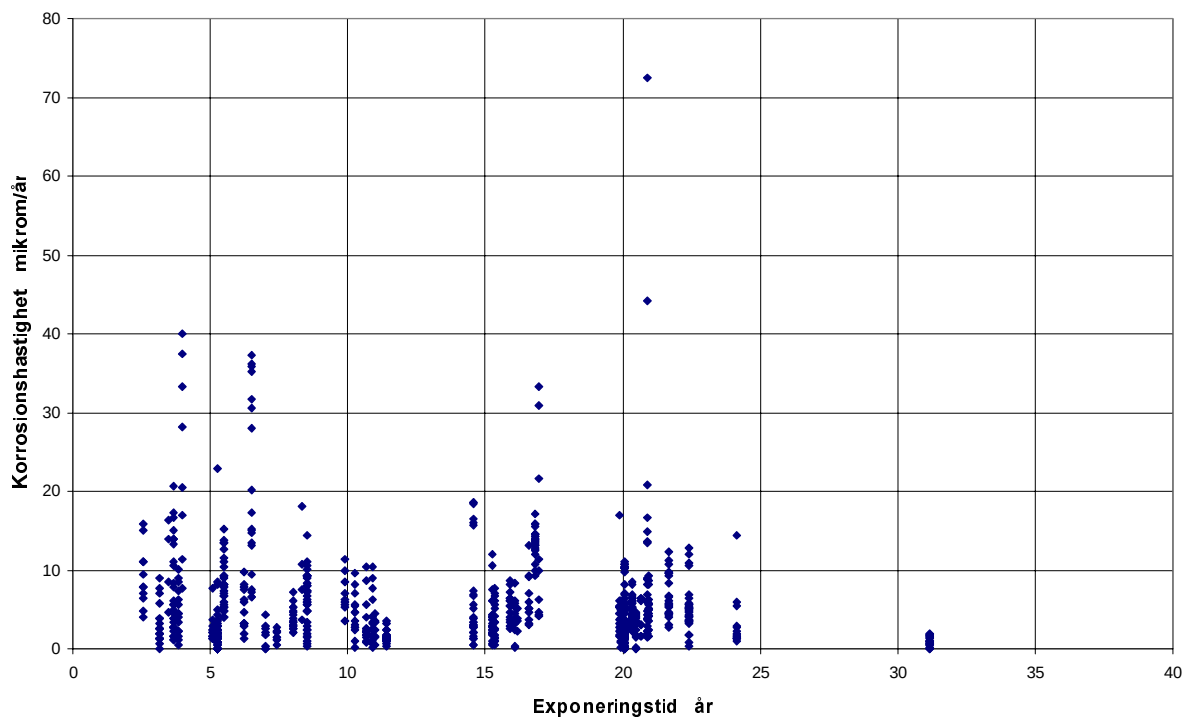
Figur 4.5.3.2 Korrosionshastighet mot jordens resistivitet.
Rate of corrosion versus the resistivity of the soil.



Figur 4.5.4.1 Korrosionshastighet mot jordens pH-värde.
Rate of corrosion versus the pH-value of the soil.



Figur 4.6.1 Korrosion mot exponeringstid.
Corrosion versus the age of exposure.



Figur 4.6.2 Korrosionshastighet mot exponeringstid.
Rate of corrosion versus the age of exposure.

5 Sammanfattande diskussion

Med stöd av resultatet i databasen har det inte varit möjligt att finna ett klart samspel mellan medelkorrosionens storlek och jordegenskaperna vattenkvot, resistivitet och pH-värde. Det är ingen tvekan om att resistivitet och pH-värde har avgörande betydelse för möjligheterna till att bilda korrosionsceller men det kräver även att man har rimlig tillgång till syre för att få igång korrosionsprocessen. Det rimliga är väl här att man borde försöka förbättra metodiken vad gäller att från jordegenskaperna göra en bedömning av förutsättningarna för korrosionsangrepp och hur detta kan tänkas utvecklas.

Databasen ger ingen påtaglig skillnad mellan korrosionen över, vid eller under den övre grundvattenytan.

Databasen ger stöd för hypotesen att hastigheten för medelkorrosionen kan bedömas med stöd av en indelning i jordtyper. Mindre korrosion i de sandiga/grusiga jordarna och en något större korrosion i de oorganiska leriga/siltiga jordarterna samt störst korrosion i de organiska jordarterna.

6 Slutsatser

En genomgång av SJ:s undersökningar av uppmätt korrosion på stål vertikalt orienterade i jord har genomförts och en databas har etablerats.

En första enkel statistisk analys har givit stöd för de slutsatser som dragits i Pålkommisionens Rapport 93, Camitz (1994).

Det är inte möjligt att finna enkla samspel mellan jordens egenskaper (resistivitet och pH-värde) och korrosionens storlek utan man bör även få med jordens förmåga att förse korrosionscellerna med syre.

Det verkar möjligt att utnyttja en indelning i typjordar för att bedöma korrosionens storlek. Ny vägledning som anger korrosionshastighet och rostmån för typjordarna (t.ex. sandiga jordar, leriga jordar och jordar med organiskt material) och som baseras på partialkoefficientmetoden och nu befintligt material bör kunna vara möjligt att ta fram.

För att förbättra databasen bör den kompletteras med resultat från senare svenska undersökningar utförda av Korrosionsinstitutet och SGI samt om möjligt resultat från undersökningar eller sammanställningar från andra länder t.ex. Ohsaki (1974, 1982) och Törnqvist & Lehtonen (1999).

7 Referenser

- [1] Sandegren, E: Korrosion på stål – vertikalt orienterat – i jord, Slutrapport. Statens Järnvägars huvudkontor. Avdelningen för geoteknik och ingenjörsgologi. Meddelande nr 26. Stockholm 1988.
- [2] Camitz, G: Korrosion och korrosionsskydd av stålplåtar och stålspons i jord och vatten. Pålskommissionen. Rapport 93. 1994.
- [3] Ohsaki, Y. Corrosion of steel piles driven in soil deposits, Proceedings of the Fifth International Congress on Metallic Corrosion, Tokyo May 1972, National Association of Corrosion Engineers, Houston 1974
- [4] Ohsaki, Y. Corrosion of steel piles driven in soil deposits, Soils and Foundations, Japanese Society of Soil mechanics and Foundation Engineering, Vol. 22, No 3, September 1982.
- [5] Törnqvist, J. och Lehtonen, J : Estimation of corrosion rate in durability design of steel piles. 12th European conference on soil mechnaics and foundation engineering. Amsterdam juni 1999. Proccedings, volym 1, sid 433-438. 1999.
- [6] Jerbo, A. och Sandegren, E. Skredet i Kyrkviken vid Kramfors 1-4 februari 1959, Kungl Järnvägsstyrelsens geotekniska avdelning, Meddelande Nr 7, 1962
- [7] Fellenius, B. Redogörelse för skredet vid Guntorp på Bergslagsbana mellan Nygård och Alvhem på linjen Kil – Göteborg den 13 april 1953., SJ geotekniska avdelning meddelande Nr 4, 1954.

Bilaga

***Utformning av databas
och sökning i databas***

Första sidan i EXCEL-bladet

Pålkommisionen

Korrosion på stålplåtar

Statistisk analys av E Sandegrens arbete

Sökbar databas över korrosionsangrepp på stålplåtar på 19 platser i Sverige

Databas				Medelkorrosion log									
Plats	Stångdel	Djup m	Exp tid år	g/m ² .år	my.m/år	I my m/år	my m	L GVV m	Jordart B	Jordart w (%)	R	pH	Max GVV
1	1	0,5	3,83	78,7	10,09	1,0039	38,64	-0,5	1 Gr (F)		1,9	7,2	0 -1
1	2	1,5	3,83	4,36	0,56	-0,2526	2,14	0,5	7 slagg el kolaska	2,4	7,2	0	
1	3	2,5	3,83	35	4,49	0,6520	17,19	1,5	1 Sa	2,5	7,4	0	
1	4	3,5	3,83	70	8,97	0,9530	34,37	2,5	3gy Le	69,5	3	7,2	0 1
1	5	4,5	3,83	65,7	8,42	0,9255	32,26	3,5	3gy Le	88,8	1,95	6,5	0
1	6	5,5	3,83	56,8	7,28	0,8623	27,89	4,5	3gy Le	85,2	2,7	6,3	0
1	7	6,5	3,83	48,1	6,17	0,7901	23,62	5,5	3gy Le	81,7	1,8	6,5	0
1	8	7,5	3,83	43,7	5,60	0,7484	21,46	6,5	3gy Le	92,4			0
1	9	8,5	3,83	35	4,49	0,6520	17,19	7,5	3gy Le	92,4	1,3	6,3	0
1	10	9,5	3,83	26,3	3,37	0,5279	12,91	8,5	3gy Le	87,1			0
1	11	10,5	3,83	30,7	3,94	0,5950	15,07	9,5	3gy Le	81,7	1,29	6,3	0
1	12	11,5	3,83	17,6	2,26	0,3534	8,64	10,5	2Le	100	1,8	6,9	0
1	13	12,5	3,83	17,6	2,26	0,3534	8,64	11,5	2Le	91,3			0
1	14	13,5	3,83	8,71	1,12	0,0479	4,28	12,5	2v Le	81,7	1,65	7,4	0
1	15	14,5	3,83	13,1	1,68	0,2252	6,43	13,5	2v Le	69,4			0
1	1	0,5	10,92	81,3	10,42	1,0180	113,82	-0,5	1 Gr (F)		1,9	7,2	1 -1
1	2	1,5	10,92	4,52	0,58	-0,2370	6,33	0,5	7 slagg el kolaska	2,4	7,2	1	
1	3	2,5	10,92	26,1	3,35	0,5245	36,54	1,5	1 Sa	2,5	7,4	1	
1	4	3,5	10,92	70,5	9,04	0,9561	98,70	2,5	3gy Le	69,5	3	7,2	1 1
1	5	4,5	10,92	59,8	7,67	0,8846	83,72	3,5	3gy Le	88,8	1,95	6,5	1
1	6	5,5	10,92	49,1	6,29	0,7990	68,74	4,5	3gy Le	85,2	2,7	6,3	1

Exempel på resultat av sökning. I detta fall har alla observationer tagits med.

Antal = 821st Normalfördelad Lognormalfördelad

Min = 0,00mikrom/år Medel = 5,52mikrom/år Medel = 0,5737
 Max = 72,55 mikrom/år Stdav = 6,13mikrom/år Stdav = 0,4210

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	92	213	333	423	497	570	621	654	682
10	706	727	739	746	767	776	787	793	796	800
20	800	804	805	806	806	806	806	806	807	808
30	808	810	811	811	813	813	815	816	818	818
40	818	819	819	819	819	820	820	820	820	820

Villkor				Medelkorrosion log										
Plats	Stångdel	Djup m	Exp tid år	g/m2.år	my.m/år	I my m/år	my m	L GY m	Jordart B	Jordart w (%)	R	pH	Max GY	

Urval				Medelkorrosion log										
Plats	Stångdel	Djup m	Exp tid år	g/m2.år	my.m/år	I my m/år	my m	L GYV m	Jordart	B Jordart	w (%)	R	pH	Max GYV
1	1	0,5	3,83	78,7	10,09	1,0039	38,64	-0,5	1Gr (F)		1,9	7,2	0	-1
1	2	1,5	3,83	4,36	0,56	-0,2526	2,14	0,5	7slagg el kolaska		2,4	7,2	0	
1	3	2,5	3,83	35	4,49	0,6520	17,19	1,5	1Sa		2,5	7,4	0	
1	4	3,5	3,83	70	8,97	0,9530	34,37	2,5	3gy Le	69,5	3	7,2	0	1
1	5	4,5	3,83	65,7	8,42	0,9255	32,26	3,5	3gy Le	88,8	1,95	6,5	0	
1	6	5,5	3,83	56,8	7,28	0,8623	27,89	4,5	3gy Le	85,2	2,7	6,3	0	
1	7	6,5	3,83	48,1	6,17	0,7901	23,62	5,5	3gy Le	81,7	1,8	6,5	0	
1	8	7,5	3,83	43,7	5,60	0,7484	21,46	6,5	3gy Le	92,4			0	
1	9	8,5	3,83	35	4,49	0,6520	17,19	7,5	3gy Le	92,4	1,3	6,3	0	
1	10	9,5	3,83	26,3	3,37	0,5279	12,91	8,5	3gy Le	87,1			0	
1	11	10,5	3,83	30,7	3,94	0,5950	15,07	9,5	3gy Le	81,7	1,29	6,3	0	
1	12	11,5	3,83	17,6	2,26	0,3534	8,64	10,5	2Le	100	1,8	6,9	0	
1	13	12,5	3,83	17,6	2,26	0,3534	8,64	11,5	2Le	91,3			0	
1	14	13,5	3,83	8,71	1,12	0,0479	4,28	12,5	2v Le	81,7	1,65	7,4	0	
1	15	14,5	3,83	13,1	1,68	0,2252	6,43	13,5	2v Le	69,4			0	
1	1	0,5	10,92	81,3	10,42	1,0180	113,82	-0,5	1Gr (F)		1,9	7,2	1	-1

I september 1959 bildades Pålkommittén för påslagning och påbärighet.

Pålkommissionen har till uppgift att bedriva forsknings- och informationsverksamhet inom pålningsområdet. Medlemmar är entreprenörer, tillverkare, konsulter, forskare, kommuner samt representanter från olika myndigheter. Till grund för kommissionens verksamhet ligger samhällets och branschens behov av forskning och information inom pålningsområdet. Verksamheten finansieras bl a med årliga kostnadsandelar från medlemmarna.

Ytterligare upplysningar om Pålkommissionens verksamhet och medlemskap lämnas av kommissionens sekreterare.

Pålkommissionen

c/o Statens geotekniska institut

581 93 Linköping, Tel: 013-20 18 00, Fax: 013-20 19 14

E-post: claes.alen@swedgeo.se Internet: www.palkommissionen.org